

La Production et Protection Intégrées appliquée aux cultures maraîchères en Afrique soudano-sahélienne



RADHORT



CENTRE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'HORTICULTURE
CAMBÉRÈNE – DAKAR



FAO
Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation

La Production et Protection Intégrées appliquée aux cultures maraîchères en Afrique soudano-sahélienne

2012

Table des matières

I. Avant propos	5
II. Introduction à la production et protection intégrées	7
III. Réglementation et textes de références en lutte intégrée	11
IV. Méthodologie de la production et protection intégrées	15
1. Choisir les espèces et une ou des variétés pour satisfaire des marchés bien précis à des périodes données	16
2. Faire la liste des principaux ennemis que l'on risque de rencontrer sur les différentes cultures prévues	16
3. Mettre les différentes spéculations dans les meilleures conditions de culture	17
4. Appliquer les méthodes de lutte nécessaires aux conditions de culture	20
4.1 Méthodes de lutte ne nécessitant pas l'utilisation de produits phytosanitaires	29
4.2 Lutte raisonnée utilisant des produits phytosanitaires conventionnels, biorationnels ou microbiologiques	43
V. Conclusions	53
VI. Recommandations	55
ANNEXE 1. Les mesures phytotechniques - Le matériel végétal	59
Les variétés résistantes aux maladies et nématodes	59
Le greffage	63
Les variétés à cycle court	63
L'utilisation de matériel végétal sain	64
ANNEXE 2. Les mesures phytotechniques - Pratiques culturales	67
Les techniques de pépinière	67
L'irrigation	69
Conduite de la culture au champ	71
Rotation - assolement - association	73
La fertilisation et les amendements	74
Le désherbage	75
ANNEXE 3. La lutte par des moyens physiques	79
La lutte mécanique	79
La lutte physique	79
ANNEXE 4. La lutte biotechnique	81
Les méthodes psychiques	81
La méthode de confusion sexuelle	81
ANNEXE 5. Méthodes de lutte mixtes	83
L'utilisation d'appâts empoisonnés	83
Les autres méthodes	83
ANNEXE 6. La lutte biologique	85
Lutte naturelle	85
Acclimatation d'auxiliaires et lâchers inondatifs	85
L'exemple du Cap-Vert	87
Situation de la lutte biologique en cultures légumières africaines	88



ANNEXE 7. La lutte microbiologique	91
Lutte contre les nématodes	91
Lutte contre les maladies du sol	92
Lutte contre les maladies des feuilles et des fruits	93
Autres agents permettant de renforcer les moyens de défense des plantes	94
Préparations fongiques entomopathogènes	94
Les bioinsecticides d'origine bactérienne	95
Bioinsecticides d'origine virale	97
ANNEXE 8. La lutte chimique conventionnelle et biorationnelle	99
Les insecticides conventionnels	99
Les fongicides et autres pesticides conventionnels	104
Les moyens de lutte chimique biorationnels	110
ANNEXE 9. Produire des légumes sains en respectant l'environnement	117
Qualité des légumes et méthodes de contrôle	118
Protection de l'environnement	121
ANNEXE 10. Production de légumes en systèmes durables	129
Préserver l'efficacité des produits	129
Programmes de lutte intégrée compatibles avec une lutte chimique raisonnée	134
ANNEXE 11. Cultures sous abris et cultures hors sol	139
La désinfection du sol et des substrats	139
La lutte intégrée en culture sous abris	143
Bibliographie	149
Glossaire	153

I. Avant propos

Les légumes sont des produits alimentaires de grande valeur commerciale et nutritifs. Ils peuvent considérablement contribuer à l'amélioration du bien être social et de l'état de santé des populations rurales et urbaines. Leur production en Afrique ne cesse de croître, et en général, il existe encore un grand potentiel pour augmenter la productivité. Cependant, le but n'est pas d'augmenter les rendements par tous les moyens possibles et par l'utilisation massive d'intrants. L'accent doit être mis sur le développement de systèmes de cultures économiquement rentables, socialement acceptables, durables, respectueux de l'environnement et de la santé des consommateurs.

Partout en Afrique, les cultures légumières sont touchées par de nombreux ennemis (insectes, araignées, nématodes, champignons, bactéries, virus,...). Suite à l'apparition de résistances, certaines d'entre eux ont atteint de hauts niveaux d'infestation malgré les contrôles chimiques. Les coûts de traitement deviennent alors prohibitif car le nombre de traitement augmente, ou il faut faire appel à des produits de plus en plus chers. Parfois des produits de plus en plus toxiques sont utilisés.

Ce document est destiné aux ingénieurs agronomes et aux vulgarisateurs. Il propose une stratégie pour la production de légumes « sains » afin de les guider vers la constitution de protocoles de cultures ou de référentiels techniques qui permettraient de donner aux maraîchers les connaissances pour produire des légumes bénéficiant d'un label assurant des produits de qualité.

Un légume de bonne qualité doit être un produit « sain » répondant à un certain nombre de caractéristiques comme :

- l'absence de résidus de pesticide ;
- des concentrations acceptables en minéraux ;
- l'absence d'agents pathogènes ;
- une bonne valeur nutritionnelle (vitamines, minéraux, protéines et hydrates de carbone) ;
- un goût apprécié par le consommateur (caractéristique organoleptiques) ;
- une conformité avec les besoins du marché (aspect, forme, taille, couleur,...)

Il doit également être produit dans des conditions qui permettent :

- des revenus appréciables pour le producteur ;
- de bonnes conditions de travail pour les producteurs ;
- le respect de l'environnement.

La stratégie, appelée **Production et Protection Intégrées**, consiste à appliquer des pratiques culturales qui peuvent réduire l'incidence des ennemis des cultures. L'usage de produits phytosanitaires est admis en dernier recours. Leur usage doit être raisonné et la préférence est donnée aux produits les plus « doux » (respect de l'environnement, de l'utilisateur, du consommateur et des auxiliaires).



II. Introduction a la production et protection intégrées

Pourquoi s'intéresser à des systèmes intégrant production et protection des cultures légumières et pourquoi vouloir proposer pareils systèmes pour l'Afrique et plus précisément pour la zone soudano-sahélienne ?

On pourrait penser, en première analyse, que vouloir introduire cette stratégie en Afrique équivaut à sauter les étapes ou à vouloir mettre la charrue avant les boeufs. Ne faudrait-il pas plutôt commencer par développer et intensifier l'horticulture ? Tout le monde sait, en effet, qu'il est possible d'obtenir des systèmes de productions horticoles très rentables qui utilisent les moyens classiques d'intensification comme le recours aux variétés sélectionnées les plus productives et l'emploi des engrais et pesticides.

On pourrait, cependant, réfléchir un peu plus aux risques à terme que comportent ces systèmes intensifs et essayer de voir dans quelle mesure leur transfert aux conditions africaines est réalisable. Force est de constater qu'un simple transfert de technologie n'est pas envisageable, d'autant plus que la technologie en question a connu des déboires et qu'il vaut mieux ne pas répéter ailleurs les excès qui ont été source de problèmes dans des pays très avancés dans le domaine horticole.

Au cours d'un atelier panafricain consacré aux techniques intégrées de production et de protection des légumes, atelier organisé par la FAO à Dakar du 23 au 30 novembre 1992, des tentatives de réponses ont été proposées et des arguments ont été avancés en faveur d'un système de production et protection intégrées en cultures légumières pour l'Afrique.

Ainsi, il est apparu que la production de légumes dans la zone soudano-sahélienne fait partie intégrante des politiques de recherche de l'autosuffisance alimentaire de ces pays. De nombreux efforts ont été consentis à la production de céréales de base, mais ces efforts ne pourront aboutir que si l'ensemble du système agricole est pris en considération, c'est à dire l'ensemble des productions céréalières, le maraîchage et l'élevage qui, développés de concert, pourront conduire à l'autosuffisance alimentaire.

Il s'ensuit que les productions horticoles sont en pleine expansion, bénéficiant notamment des infrastructures importantes qui ont été créées pour la production céréalière. On pense bien sûr en tout premier lieu aux périmètres irrigués qui permettent la culture de légumes de contre-saison. Il faut ajouter à cela d'innombrables micro-réalisations implantées sous l'impulsion d'organismes non gouvernementaux et de projets qui favorisent le développement des productions horticoles. Mais la production de légumes n'est pas le monopole d'exploitations professionnelles disposant des moyens et des infrastructures nécessaires. La production de légumes existe aussi au niveau des jardins individuels, des petits maraîchers périurbains qui produisent les légumes avec les moyens du bord, exploitant un savoir qui provient de l'expérience des anciens et des traditions locales.

Tous ces exploitants peuvent être tentés d'utiliser les moyens modernes de production à plus ou moins bon escient, la rentabilité immédiate étant généralement assurée. C'est dire que des risques de dérapages existent, puisqu'on peut être tenté de sacrifier la fertilité du sol à long terme et de raccourcir les rotations en provoquant



de sérieux problèmes phytosanitaires. En outre, pour ce qui est de la lutte chimique contre les ravageurs, on risque d'être confronté à de sérieux problèmes résultant d'une mauvaise utilisation des pesticides, mis sur le marché pour d'autres usages ou cultures ou manipulés par des personnes non expérimentées.

Il convient donc d'accorder une importance toute particulière à la qualité des légumes produits de cette façon. En effet, les légumes peuvent non seulement constituer une part non négligeable de la ration alimentaire (légumes feuilles, par exemple), mais ils apportent, en outre, quantités de substances minérales et vitaminiques que les populations urbaines ne trouvent plus dans leurs aliments de base habituels.

Or l'intensification de la production de légumes s'accompagne souvent d'une augmentation de l'utilisation d'intrants qu'engrais et pesticides. Ceci est d'autant plus logique que la production s'inscrit de plus en plus dans une structure de production intensive (cultures irriguées, variétés productives) qui, pour être rentable, nécessite l'utilisation de ces facteurs de productions. Par ailleurs, il existe des risques sérieux qu'au niveau des jardins individuels, on adopte certaines recettes basées, entre autres, sur l'utilisation de pesticides non appropriés.

L'utilisation non raisonnée de pesticides est actuellement combattue aussi bien par les défenseurs de l'environnement, par les protecteurs des consommateurs que par l'industrie phytopharmaceutique elle-même. Tous ces groupes aux intérêts parfois divergents réalisent actuellement que la lutte chimique doit s'adapter pour faire face aux défis qui lui sont lancés. Cependant encore trop souvent des dons en pesticides pour des pays en voie de développement risquent de remettre en cause certains acquis de la lutte intégrée, du moins si les pesticides en question ne sont pas utilisés de façon judicieuse.

Il est maintenant reconnu par tous que certains pesticides peuvent être dangereux directement ou indirectement pour la santé. C'est évidemment dans le domaine toxicologique que l'on a réalisé le plus de progrès pour éviter les intoxications au moment du traitement, voire les empoisonnements accidentels. L'immense majorité des pesticides introduits sur le marché sont nettement moins toxiques, même dans le domaine des insecticides où il faut souligner le progrès marquant que représentent les pyrèthrinoides de synthèse. Signalons aussi que des retraits d'homologation peuvent être imposés par les autorités lorsque des risques toxicologiques sont redoutés. Par ailleurs, l'industrie a consenti d'immenses efforts en matière de formation et d'information des utilisateurs de pesticides pour réduire au maximum les risques d'accidents. C'est pourquoi, ces aspects d'ordre toxicologique ne seront que très succinctement abordés ici.

Mais il est d'autres effets préjudiciables qui sont à redouter d'une utilisation irréfléchie des pesticides : on citera, la présence de résidus dans les denrées produites, la pollution de l'environnement, le non respect des auxiliaires utiles et l'induction de mécanismes de résistance au sein des populations de ravageurs. Tous ces effets sont incompatibles avec l'objectif essentiel qu'il faut se fixer, à savoir le développement de systèmes de production durables et respectueux de l'environnement pour l'obtention des légumes sains.

Pour éviter les problèmes évoqués ci-dessus, il sera indispensable de n'avoir recours à l'utilisation des produits phytosanitaires qu'en dernier ressort. Avant, toutes les formes de lutte permettant d'en exclure l'utilisation auront été utilisées. Ceci peut se réaliser en combinant différentes méthodes de lutte complémentaires : les techniques de production en mettant l'accent sur le matériel végétal, l'obtention de plants de qualité en pépinière, la nutrition adéquate des plantes, la bonne gestion de la matière organique dans les sols, l'adoption de rotations et assolements adaptés et les méthodes de lutte appropriées qu'elles soient de nature physique, biotechniques ou biologique.

Cette stratégie que nous appelons « Production et Protection Intégrée » constitue une gestion durable et économiquement rentable des cultures. Elle est basée sur l'intégration :

- des techniques culturales ;
- des technologies de production ;
- des considérations sociales (conditions de travail des producteurs, protection de la santé des consommateurs) et environnementales (respect des ressources naturelles et de l'espace agricole,...);
- et de la lutte intégrée.

L'objectif de cet ouvrage sera, dès lors, d'attirer l'attention du lecteur sur les nombreuses possibilités qui s'offrent aux producteurs de légumes pour mettre sur le marché des produits de qualité en mettant en oeuvre des techniques de production et de protection des cultures sans danger pour la santé de l'homme ni pour la qualité de son environnement (cf. annexe 9).

Le chapitre III présente diverses réglementations et textes de référence ayant trait à l'amélioration de la lutte chimique raisonnée, à la promotion de la lutte intégrée, à la préservation de l'environnement et enfin à la production d'aliments sains et de qualité.

Le chapitre IV, explicite à l'aide d'exemples concrets une méthodologie d'utilisation des techniques de production et protection intégrées confirmées ou potentielles. Une présentation plus détaillée est faite pour la culture de la tomate.

Le chapitre V apporte en guise de conclusion une description de l'évolution et des perspectives d'avenir des moyens de lutte qui deviennent de plus en plus une intégration des facteurs de production et de protection sous une approche globale.

Le chapitre VI donne des recommandations pour la mise en oeuvre des techniques de production et protection intégrées en insistant sur le fait que les mesures de protection ne doivent pas être prise isolément mais doivent constituer un ensemble qui permet un bon état phytosanitaire de la culture.

Les annexes apportent des informations complémentaires ou détailleront les techniques abordées dans les différents chapitres.

Ce document a été préparé avec la collaboration de la Station Fédérale de Recherches en Arboriculture, Viticulture et Horticulture, Wädenswil, Suisse.



III. Réglementation et textes de références en lutte intégrée

Plusieurs organisations internationales se sont préoccupées des diverses matières qui sont reliées de façon plus ou moins directe à la lutte intégrée (commercialisation et utilisation des pesticides, résidus toxiques, problèmes pour l'environnement, développement de programmes de lutte intégrée, etc.). Parmi les organisations des Nations Unies, on relèvera plus particulièrement la FAO (Alimentation et Agriculture), l'OMS (Santé), le PNUE (Environnement) et le PNUD (Développement) qui sont actives en matière de production des végétaux, utilisation de pesticides et protection de l'environnement.

On distinguera dans ce qui suit diverses réglementations et textes de référence ayant trait à l'amélioration de la lutte chimique raisonnée, à la promotion de la lutte intégrée, à la préservation de l'environnement et enfin à la production d'aliments sains et de qualité.

La FAO et l'OMS se sont très rapidement attachées à développer des initiatives visant à contrer les problèmes liés à la toxicité des pesticides et leur teneur en résidus dans les productions agricoles. La commission conjointe FAO-OMS du *Codex Alimentarius* est à la base d'un programme très étendu visant à fixer des normes de tolérances pour les résidus de pesticides dans les aliments.

Une autre action très importante, à l'initiative de la FAO, est le code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides. Le principe de ce code est la prise de responsabilité des fabricants de pesticides et des firmes chargées de leur commercialisation quant à la façon d'assurer la distribution et l'utilisation des pesticides sans danger pour les populations de pays non dotés des infrastructures nécessaires pour l'homologation des produits.

Par ailleurs, afin de venir en aide aux autorités responsables de l'homologation des pesticides, la FAO a édité des lignes directrices en matière d'efficacité, de critères environnementaux et de contrôle des pesticides.

Il faut souligner le rôle important de ces initiatives internationales car, force est de constater que, dans de nombreux pays en voie de développement les réglementations nationales en matière d'homologation et contrôle des pesticides existent peut-être dans certains cas mais sont difficilement mises en application. En outre, on assiste un peu partout dans le monde à une harmonisation des réglementations, que ce soit au niveau de l'UE ou de l'OCDE.

La lutte intégrée avait déjà été proposée avant la fin des années '50 comme système de protection attachant une importance primordiale aux relations existant entre les différents éléments des écosystèmes agricoles. A l'heure actuelle, la lutte intégrée peut toujours être définie comme étant **«une stratégie de lutte contre les parasites et les maladies basée sur la mise en oeuvre de toutes les méthodes et techniques acceptables sur le plan économique, écologique et toxicologique ayant pour but de réduire l'importance des organismes nuisibles jusqu'à un niveau inférieur au seuil de nuisibilité économique, en accordant la priorité aux facteurs limitatifs naturels»** (FAO, 1965)

En 1975, la FAO et le PNUD ont lancé leur programme global pour le développement et l'application de la lutte intégrée en agriculture. L'objectif de ce programme est de rechercher et de développer des technologies de protection des végétaux, durables et respectueuses de l'environnement. Comme exemples



d'applications, on peut citer les programmes de lutte intégrée en cultures de coton et de manioc en Afrique et en cultures maraîchères pour l'Asie. Dans ce dernier cas, il semble que les résultats obtenus soient particulièrement encourageants. Ainsi, on cite souvent l'exemple suivant de réussite en Indonésie : grâce à l'introduction d'un seuil d'intervention pour le contrôle de la teigne des crucifères (*Plutella xylostella*), les fermiers ont réduit fortement le nombre d'interventions avec des insecticides car le rôle des prédateurs naturels s'est vu renforcé.

En matière d'environnement, le Sommet de Rio (conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement tenue à Rio de Janeiro en juin 1992) constitue assurément un des jalons importants dans la prise de conscience des problèmes d'environnement à l'échelle de la planète et de la volonté politique de développer des solutions pratiques pour le futur. C'est au cours de cette conférence que fut proposé l'«Agenda 21», ensemble de priorités pour un futur développement durable à l'échelle mondiale. L'Agenda 21 prévoit 14 domaines prioritaires parmi lesquels la lutte contre la désertification, la foresterie et la préservation des ressources marines... mais nous retiendrons plus particulièrement dans le cadre qui nous préoccupe la volonté de promouvoir un développement durable et respectueux de l'environnement.

En horticulture, on peut proposer des systèmes de production moins axés sur l'utilisation d'intrants. De tels systèmes feront plus appel au recyclage des nutriments par le biais des rotations, du compostage et des amendements organiques. Ces systèmes de production plus centrés sur la fertilisation organique et moins gourmands en pesticides auront des répercussions positives sur l'environnement (moins de pollutions des eaux et des sols, moins d'énergie requise pour la fabrication des engrais chimiques et donc moins de production de gaz à effet de serre). En outre ces systèmes de production pourraient permettre aux collectivités locales de produire plus avec les ressources locales et en synergie avec d'autres secteurs de production agricole (élevage, céréales, ...). Tout ceci peut contribuer à plus de bien-être des communautés rurales dans un environnement plus stable (sols mieux stabilisés, protection contre les érosions, etc...). En zone soudano-sahélienne, où la recherche de l'autosuffisance alimentaire et la lutte contre la désertification constituent les plus grandes sources de préoccupation, on ne négligera pas l'impact positif que peut avoir un système de développement de ce type.

D'autres systèmes de production plus durables et plus respectueux de l'environnement que ceux actuellement en vigueur peuvent déjà être développés en s'attachant à mieux raisonner la protection phytosanitaire et, en particulier, l'utilisation des pesticides. Un recours trop intensif aux pesticides s'accompagne rapidement d'effets non souhaités comme la pollution de l'environnement, l'acquisition de résistances au sein des populations de ravageurs, la destruction des ennemis naturels et la prolifération subséquente de nouveaux ravageurs. Une meilleure gestion de la protection phytosanitaire doit conduire à rendre ce système plus durable et plus respectueux de l'environnement.

Deux autres conventions sont associées au Sommet de Rio car elles ont été négociées ou rediscutées à cette occasion. Il s'agit des conventions sur la biodiversité et sur la protection de la couche d'ozone. Ces deux conventions ne sont pas sans conséquences sur les lignes de conduite à adopter pour le développement agricole, en général, et pour l'intensification de l'horticulture plus particulièrement.

La protection de la couche d'ozone nécessite de réduire, voire de supprimer l'utilisation de substances réduisant la couche d'ozone, en particulier les Chlorofluorocarbures (CFC) (Protocole de Montréal, 1987). Depuis, de nouvelles substances sont sur la sellette dont le bromure de méthyle qui est très largement utilisé pour la fumigation des silos (désinfection, quarantaine,...) et des sols (horticulture !). Les tonnages mis en cause sont loin d'être négligeables

(66 000 tonnes par an) et, en outre, il faut savoir que la molécule de brome est quarante fois plus destructrice pour l'ozone que celle de chlore. De nombreux pays du pourtour méditerranéen se sont opposés aux réductions de production de ce fumigant car leur horticulture est devenue très dépendante de l'utilisation de ce produit. Néanmoins, il a été décidé de limiter la production au niveau de 1991, ce qui, dans l'avenir, limitera considérablement les perspectives de développement horticole basées sur des systèmes intensifs avec fumigation chimique du sol.

La convention sur la biodiversité a pour but de maintenir la biodiversité de la terre et de restaurer les écosystèmes dégradés. Parmi les divers objectifs que se sont assignés les signataires de cette convention, signalons deux domaines de compétence pertinents en matière de développement horticole, à savoir : la biosécurité et l'exploitation durable de la biodiversité par les pays en développement.

La biosécurité est une matière à suivre pour l'avenir, dans la mesure où la commercialisation des plantes et organismes manipulés génétiquement entre, dès à présent, dans sa phase active. Il faut, en effet, éviter que ces organismes ne mettent en danger les écosystèmes (envahissement des biotopes, effets non souhaités et appauvrissement en espèces). La Banque Mondiale s'est activement penchée sur cette matière et a proposé des lignes directrices pour l'acceptation de ces nouveaux types de produits.

L'exploitation durable de la biodiversité n'est pas un sujet de préoccupation pour le futur. Actuellement, on a déjà tendance à sélectionner un nombre trop limité de variétés cultivées, tellement limité que dans certaines régions du monde cela a donné lieu à de véritables désastres lorsque, la ou les quelques variétés en question, sont confrontées à une nouvelle attaque. A l'avenir, ces problèmes pourraient être plus aigus encore avec l'apparition des plantes transgéniques résistantes aux insectes ou à un herbicide car ces variétés pourraient constituer un nouveau type de monoculture, avec des risques très graves en cas de rupture de résistance tant d'un point de vue économique (culture perdue) qu'écologique (risques de dissémination des gènes). Plus fondamentalement, il est essentiel que les pays où se pratique encore une agriculture traditionnelle prennent conscience de l'énorme richesse génétique qu'ils détiennent, que ce soit au niveau de l'adaptation des variétés rustiques aux conditions locales, de la multitude des mécanismes de tolérance ou de résistance aux ravageurs et maladies, ou de la diversité des propriétés gustatives et nutritionnelles tant appréciées des populations locales.

Enfin, en décembre 1992, s'est tenue à Rome, sous l'égide de la FAO et de l'OMS, la Conférence Internationale sur la Nutrition. A l'issue de cette Conférence une déclaration engageant les 149 Etats représentés a été proclamée dans le but d'affirmer la volonté commune de lutter contre la famine et de garantir à chacun l'accès à une alimentation suffisante et saine. Il peut être particulièrement utile de préciser que parmi les grands principes d'action proposés, on relève comme objectifs prioritaires l'amélioration de la situation alimentaire en Afrique et le développement durable et sans danger pour l'environnement. En ce qui concerne le dernier point, l'influence du Sommet de Rio apparaît clairement dans la déclaration : «Il importe (...) d'utiliser les ressources naturelles avec précaution pour satisfaire de façon durable les besoins nutritionnels et autres d'une population mondiale croissante, sans compromettre la capacité de satisfaire les besoins des générations futures. Il est essentiel de motiver les agriculteurs et de leur donner des incitations pour qu'ils adoptent des méthodes viables et efficaces.»

En outre, on retiendra tout particulièrement, parmi les stratégies et mesures à prendre, la protection du consommateur et l'amélioration de la qualité et de la sécurité des produits alimentaires. Pour atteindre cet objectif, il est notamment recommandé de veiller à une bonne utilisation des produits agrochimiques (grâce au respect du code international de conduite pour la distribution et l'utilisation



des pesticides), de promouvoir l'application de pratiques agricoles durables et respectueuses de l'environnement et une lutte intégrée contre les ravageurs. Il convient aussi de privilégier les techniques qui conduisent à une moindre utilisation de produits chimiques agricoles.

IV. Méthodologie de la production et protection intégrées

L'adoption d'une stratégie de Production et Protection Intégrées doit être idéalement envisagée au niveau de l'ensemble de l'exploitation et non culture par culture. En effet les précédents culturaux, les cultures avoisinantes, la végétation environnante en général, le matériel de culture et son mode d'utilisation, le mode d'irrigation, le type de brise-vent, etc. sont un ensemble de facteurs qui vont influencer fortement le niveau de la pression des principaux ennemis sur les cultures. Avant le début des productions il est donc nécessaire de connaître les espèces qui vont être cultivées pour pouvoir effectuer, dans l'espace et dans le temps, les meilleurs aménagements possibles.

La maîtrise de la stratégie de Production et Protection Intégrées par les agriculteurs nécessite une bonne formation de ceux-ci, des vulgarisateurs, et des chercheurs,... ainsi que la disponibilité de référentiels techniques faciles à consulter.

Afin de compléter les connaissances et les expériences propres à l'agriculteur; pour chaque culture les référentiels suivants sont nécessaires pour le choix et l'application de méthodes de lutttes n'utilisant pas de produits phytosanitaires

- * Matériel de reconnaissance des principaux ennemis.
- * Distribution géographique et temporelle des principaux ravageurs.
- * Sensibilité des stades phénologiques aux principaux ravageurs.
- * Liste des variétés recommandées avec la période de culture, la durée du cycle, les résistances, tolérances ou moindre sensibilité.
- * Influence des pratiques culturales en pépinière et au champ sur les principaux ravageurs.
- * Liste et description des méthodes de lutte par des moyens biotechniques ou physiques contre les principaux ravageurs, leur moment optimal d'application.
- * Influence des caractéristiques du terrain sur le développement des déprédateurs.

Si l'utilisation de produits phytosanitaires est nécessaire il faut raisonner ses traitements selon les seuils d'intervention ou créer son propre calendrier de traitements préventifs raisonnés en utilisant les référentiels suivant:

- * Seuils d'intervention pour les principaux ravageurs des principales cultures.
- * Moyens de déterminations et techniques d'observations des ravageurs.
- * Distribution géographique et temporelle des principaux ravageurs.
- * Sensibilité des stades phénologiques aux principaux ravageurs.
- * Techniques d'application, spectres d'activité, dosages, rémanences et délais d'utilisation avant récolte des produits phytosanitaires industriels ou artisanaux recommandés pour les principaux ravageurs des principales cultures.
- * Liste des produits phytosanitaires disponibles pour le maraîchage avec les coûts et pour chaque revendeur, les conditionnements, les concentrations et les formulations disponibles.
- * Liste des principaux ennemis naturels (auxiliaires) des principaux ravageurs et toxicité des produits pour ces auxiliaires.



- * Toxicité des produits pour les mammifères et compatibilité des produits avec la protection de l'environnement.
- * Compatibilité entre les produits phytosanitaires.
- * Classement des produits phytosanitaires en classes et stratégies de résistance.
- * Mesures et matériel de protection pour l'utilisation des principaux pesticides.

Si le producteur dispose des éléments ci-dessus, il pourra suivre la méthodologie suivante pour adopter les méthodes de lutttes de Production et Protection Intégrées les plus appropriées à une production sous un label de qualité. Une autre alternative consiste à faire préparer par des ingénieurs et des techniciens des protocoles de cultures selon la même méthodologie.

Pour un site d'exploitation donné les différentes étapes de la stratégie PPI seront :

1. Choisir les espèces et une ou des variétés pour satisfaire des marché bien précis à des périodes données

Les caractéristiques de la production désirée pourront être par exemple définies par les critères suivants :

Tomate

- Type de fruit (forme, ...)
- Grosseur des fruits
- Qualité des fruits
- Période de récolte

Chou

- Calibre de la pomme
- Densité et fermeté de la pomme
- Forme de la pomme
- Période de récolte

En fonction de ces caractéristiques la ou les variétés adaptées seront retenues. La décision finale de la variété à utiliser aura lieu au point 4.1.1. (page 27).

Exemple: variétés à gros fruit (80 g) pour la production au Sénégal en octobre-novembre; F1 Hope N°1, F1 Calinago, F1 Heatmaster.

2. Faire la liste des principaux ennemis que l'on risque de rencontrer sur les différentes cultures prévues

Etablir cette liste en tenant compte :

- de la situation géographique de l'exploitation;
- de la période de culture;
- de l'espèce;
- de la sensibilité des stades phénologiques ;
- des caractéristiques des terrains de l'exploitation ;

Exemples :

- un sol argileux sera défavorable au développement des nématodes *meloïdogyne*
- un sol sableux sera par contre favorable à ce ravageur
- des expériences précédentes de l'agriculteur ;
- des cultures avoisinantes hors exploitation et non contrôlables.

3. Mettre les différentes spéculations dans les meilleures conditions de culture

3.1. Déterminer la surface nécessaire pour chaque production souhaitée de la ou des variétés sélectionnées.

Exemples : produire 20 t de tomate F1 Hope N°1 en octobre-novembre nécessite un terrain d'un hectare. Produire 8 t de haricot Nerina en janvier nécessite un terrain d'un hectare.

3.2. Déterminer les caractéristiques idéales du terrain pour ces productions. Ensuite caractériser le ou les terrains disponibles.

Quelques caractéristiques du terrain à prendre en considération avec exemples pour le haricot vert.

- Ravageurs rencontrés au cours des précédents culturaux:
Idéalement les précédents culturaux utilisés, au cours des trois années précédentes, n'auront pas été atteints fortement par des ravageurs (*Rhizoctonia*, *Nématodes*,...) pouvant s'attaquer au haricot vert.
- Brise-vents:
Le haricot vert est extrêmement sensible au vent, des brise-vents adaptés sont donc nécessaires.
- Type d'irrigation :
L'irrigation par aspersion ou au goutte à goutte seront plus favorables qu'une irrigation à la raie.
- Enherbement :
Le potentiel de développement de mauvaises herbes difficiles à éliminer (*Cyperus*, *Imperata*, ...) sera le plus faible possible.
- pH du sol:
Doit être compris entre 6 et 7,5.
- Texture du sol :
Préfère les terres fortes. Les sols à texture trop grossière lui sont défavorables.
- Structure du sol :
Elle doit être homogène, bonne et sans creux.
- Salinité du sol :

Le haricot vert est très sensible aux excès de sels. Pour le haricot, une réduction prévisible de 10 % de la récolte intervient à partir d'une conductivité électrique de l'extrait de pâte de sol saturé à 25°C de 1,5 mmhos/cm, allant jusqu'à 50 % de réduction de récolte à 3,6 mmhos/cm. Pour le haricot, le seuil maximum de conductivité pour lequel il n'y a pas de perte de récolte est de 1,0 mmhos/cm (équivalent de 640 mg de sels dissous/litre de sol) et on estime l'évolution des pertes de récolte à 19 % pour chaque mmhos/cm au delà du seuil de 1,0 mmhos/cm.

- Composition du sol :
La matière organique peut être abondante à condition d'être bien décomposée.
- Qualité de l'eau :
Eviter des eaux salines et chlorées.
- Exposition:
Les expositions ensoleillées sont favorables.
- Lumière :
L'ombrage excessif diminue les rendements.
- Vent dominant:
Les vents dominants ne doivent pas être trop secs et chauds.



- Ecoulement de la production:
Le lieu de production doit être proche du lieu de conditionnement.
- Inondation et excès d'humidité du sol :
Le terrain ne doit pas être sujet à des poches d'excès d'humidité ou à l'inondation après arrosage ou pluies (nivellement correct du sol requis).

3.3. Etablir un plan d'assolement et de rotations en fonction des terrains disponibles, des espèces choisies et de leur sensibilité aux ennemis identifiés au point précédent (cf. annexe 2, page 67)

La proximité de cultures de même sensibilité et se trouvant à des stades de développement différents favorise le maintien de certains ennemis au niveau d'une exploitation. En effet cela permet à ces ennemis de trouver continuellement dans des conditions favorables de développement. Afin d'éviter le plus possible ce phénomène il est conseillé de bien programmer les assolements.

La répétition de cultures d'un hôte sensible à un parasite tend à faire augmenter le nombre de germes de celui-ci dans le sol. Afin d'éviter ce phénomène il est conseillé d'effectuer des rotations, c'est à dire d'alterner dans le temps les cultures sur un même terrain. Cela est souvent malaisée à cause de contraintes climatiques ou de marché. Le tableau IV.2 de la page suivante indique quels sont les précédents culturaux conseillés et déconseillés pour quelques cultures maraîchères. Il est parfois nécessaire d'éviter de cultiver pendant plusieurs années un (ou des) précédents déconseillé(s) avant de cultiver à nouveau une culture déterminée. Le tableau ci dessous donne deux exemples d'ennemis à prendre en considération pour établir les meilleurs précédents culturaux. La majorité des plantes maraîchères sont sensibles aux nématodes *Meloïdogyne* qui sont les ennemis les plus redoutables des cultures maraîchères en Afrique et plus particulièrement dans les sols sableux.

TABEAU IV.1.

Exemples d'ennemis à prendre en considération dans la rotation des cultures maraîchères en milieu soudano-sahélien.

Ennemi	Cultures sensibles	Cultures moyennement sensibles	Cultures peu ou pas sensibles
Nématodes <i>Meloïdogyne</i>	aubergines, baselle, betterave, carotte, céleri, concombre, cornichon, courge, courgette, gombo, haricot, igname, laitue, chicorée, manioc, melon, moutarde chinoise, niébé, persil, pois, pomme de terre, tomate	amaranthe, bissap, chou pommé, chou de chine, navet chinois, oignon, pastèque, patate douce, piment, poivron, radis,	ail, canne à sucre, ciboule, échalote, fraisier, maïs, menthe, morelle noire, poireau, sorgho
<i>Rhizoctonia solani</i>	haricot vert	pomme de terre, tomate	aubergines, arachide, bissap, canne à sucre, carotte, chou pommé, chou fleur, courge, fraisier, gombo, igname, laitue, maïs, melon, oignon, pastèque, patate douce, piment, poireau, poivron.

Tableau IV.2. Précédents plus ou moins favorables aux cultures maraîchères

Culture envisagée	Précédents																									
	Cultures maraîchères											Plantes de grande culture														
	Tomate	Aubergine	Poivron, piment	Pomme de terre	Cucurbitacées	Céleri, carottes, persil	Crucifères	Laitues, chicorées	Légumineuses	Allium	Amaranthe	Bissap	Gombo	Fraisier	Menthe	Patate douce	Mais	Sorgho	Soja	Tournesol	Tabac	Engrais vert graminée	Arachide	Canne à sucre	Igname	Manioc
Tomate	000	000	000	000	000	000	000	000	000	+++	+++	xxx	000	+++	+++	xxx	+++				000	+++	+++	+++	000	000
Aubergine	000	000	000	000	000	000	000	000	+++	+++	000	000	000	+++	+++	xxx	+++		xxx		000	+++	+++	+++	000	000
Poivron-Piment	000	000	000	000	000	000	000	000	+++	+++	xxx	000	000	+++	+++		+++				000	+++	+++	+++	000	000
Pomme de terre	000	000	000	000	000	000	000	000	+++	+++	000	000	000	+++	+++		+++				000	+++	+++	+++	000	000
Cucurbitacées	000	000	xxx	000	000	000	000	000	+++	+++	xxx	000	000	+++	+++		+++				000	+++	+++	+++	000	000
Céleri, carotte, persil	000	000	xxx	000	000	000	xxx	000	+++	xxx	xxx	000	000	+++	+++		+++				000	+++	+++	+++	000	000
Crucifères							000		+++	xxx	xxx				xxx		+++					+++				
Laitues Chicorées	000	000	xxx	000	000	000	xxx	000	+++	xxx	xxx	000	000	+++	+++		+++			000	000	+++	+++	+++	000	000
Légumineuses	000	000	xxx	000	000	000	xxx	000	+++	+++	+++	000	000	+++	+++		+++		000		000	+++	000	+++	000	000
Allium							xxx		000	000						xxx	xxx					xxx				
Amaranthe										000																
Bissap	xxx	xxx					xxx			xxx	000	000	000	xxx	xxx											
Gombo	000	000	xxx	000	000	000	000	000	+++	+++	000	000	000	+++			+++				000	+++	+++	+++	000	000
Fraisier														000												
Menthe															000											
Patate douce	xxx	xxx							xxx																	

000 déconseillé xxx douteux 000 sans inconvénient +++ favorable

Remarque : les précédentes cultures devraient être considérées sur plusieurs années. Par exemple : si on veut produire de la tomate, il faudra idéalement la cultiver sur un terrain n'ayant pas reçu de précédents défavorables pendant 3 à 5 ans.



4. Appliquer les méthodes de luttes nécessaires aux conditions de la culture

Le tableau ci-dessous synthétise les méthodes de lutte applicables en milieu soudano-sahélien contre les principaux ennemis des cultures maraîchères.

Les tableaux des pages 22 à 25 présentent le même type de synthèse pour les principaux ennemis de la culture de la tomate. Ce type de tableau permet d’avoir une vue globale des différents méthodes de lutte. Il permet de voir quels sont les ennemis qui peuvent être combattus par chaque méthode de lutte, ou pour un ennemi donné de voir quels sont les méthodes de lutte possibles.

Les commentaires sur ces tableaux se trouvent de la page 27 à la page 53. Les exemples et explications particuliers à la tomate s’y trouvent en encadré.

TABLEAU IV.3
de synthèse des méthodes de lutte applicables en cultures maraîchères en milieu soudano-sahélien
 (les cases grisées indiquent que la méthode est applicable pour protéger certaines cultures maraîchères de certaines espèces de cette catégorie d’ennemi)

METHODES DE LUTTE	Principaux types d’ennemis							
	Bactéries	Champignons	Virus	Acarie	Insectes	Nématodes	Oiseaux	Rongeurs
AU NIVEAU DU MATERIEL VEGETAL								
Résistance variétale								
Tolérance variétale								
Moindre sensibilité variétale								
Semences certifiées saines								
Porte greffes résistant ou tolérant								
Variétés à cycle court								
Port des variétés								
Désinfection par fermentation								
Thermothérapie								
Traitement des semences par des produits phytosanitaires								
AU NIVEAU DE LA PEPINIERE								
Lieu de la pépinière								
Choix de la période de semis								
Préparation du sol								
pépinière surélevée								
béchage								
ratissage, nivellement								
bonne fertilisation								
matière organique bien décomposée								
Pépinière en mottes, pots ou sachets de compost								
Protection physique								
voiles non-tissés ou tissés								
toitures contre la pluie								

TABEAU IV.3
de synthèse des méthodes de lutte applicables en cultures maraîchères en milieu soudano-sahélien
 (les cases grisées indiquent que la méthode est applicable pour protéger certaines cultures maraîchères de certaines espèces de cette catégorie d'ennemi)

METHODES DE LUTTE	Principaux types d'ennemis							
	Bactéries	Champignons	Virus	Acarions	Insectes	Nématodes	Oiseaux	Rongeurs
AU NIVEAU DE LA PEPINIERE (Suite)								
Densité et profondeur de semis								
faible densité de semis								
profondeur de semis adaptée								
Doses, périodes et fréquences d'irrigation								
Eviter l'excès d'humidité								
Quantité de l'eau								
Eviter salinité importante								
Désherbage correct								
Binage régulier								
Elimination des plants attaqués								
Eliminer les plants qui présentent des symptômes attaqués								
Eliminer les plants fortement atteints								
Traitement du sol par la chaleur								
Pièges								
Collecte manuelle de ravageurs								
Destruction plants restant après remplacements								
Traitements avec des produits phytosanitaires								
traitement du sol								
traitement organes aériens								



TABEAU IV.3
de synthèse des méthodes de lutte applicables en cultures maraîchères en milieu soudano-sahélien
 (les cases grisées indiquent que la méthode est applicable pour protéger certaines cultures maraîchères de certaines espèces de cette catégorie d'ennemi)

METHODES DE LUTTE	Principaux types d'ennemis							
	Bactéries	Champignons	Virus	Acariens	Insectes	Nématodes	Oiseaux	Rongeurs
AU NIVEAU DU CHAMP								
Choix de la période de plantation ou de semis								
Choix du terrain								
jachère nue								
engrais vert								
rotation des cultures								
éviter voisinage de culture sensible								
éviter voisinage de brise-vents ou arbres sensibles								
éviter des brises vents excessifs								
submersion prolongée du terrain								
Préparation du terrain								
labour profond								
hersage								
fraisage								
béchage								
chaulage								
matière organique bien décomposée								
compost avec chitine								
soils argileux								

METHODES DE LUTTE	Principaux types d'ennemis							
	Bactéries	Champignons	Virus	Acarieus	Insectes	Nématodes	Oiseaux	Rongeurs
AU NIVEAU DU CHAMP (Suite)								
bon drainage								
sol non salé								
plantes pièges en rotation								
Solarisation								
éviter zones à brouillard ou forte rosée persistants								
Mode de culture								
faible densité de semis ou de plantation								
profondeur de semis ou de plantation								
association de cultures non sensibles								
irrigation à la raie								
irrigation goutte à goutte								
irrigation par aspersion								
plantes pièges associées								
cultures intercalaires								
éviter l'association de cultures sensibles à cycles différents								
plants en mottes, pots ou sachets								
culture sous toiture contre la pluie								
filets, voiles tissés ou non tissés								
Entretien de la culture								
paillage								
fumure phosphatée équilibrée								
bonne fumure azotée								
excès d'azote								
fertilisation foliaire								
binage								



METHODES DE LUTTE	Principaux types d'ennemis							
	Bactéries	Champignons	Virus	Acariens	Insectes	Nématodes	Oiseaux	Rongeurs
buttage								
maintenir les outils propres ou désinfectés								
désherbage régulier								
irrigation matinale								
irrigation saturante								
forte humidité du sol								
arracher, ramasser et détruire les plantes atteintes								
arracher, ramasser et éliminer les plantes sévèrement atteintes								
ramasser et éliminer les organes atteints								
arracher, ramasser et détruire les plantes arrivées en fin de récolte								
taille des plantes								
effeuillage								
AU NIVEAU DU CHAMP (Suite)								
antibiotiques								
repulsifs à base d'essence de plantes								
à base d'extraits de plantes								
AU NIVEAU DE LA RECOLTE ET DE LA CONSERVATION								
Ramassage et destruction des résidus de culture								
Elimination des rejets								
Isolement des stocks								
Stade de récolte								
Triage								

TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES MÉTHODES DE LUTTE EN CULTURE DE TOMATE (1)

Méthodes de lutte	Principaux ennemis										
	Bactéries	Champignons				Virus	Acaréens	Insectes			Nématodes
	<i>Pseudomonas solanacearum</i> <i>Xanthomonas vesicatoria</i> <i>Alternaria solani</i>	<i>Cladosporium fulvum</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Leveillula taurica</i>	<i>Phytophthora parasitica</i> <i>Phytophthora infestans</i> <i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Septoria lycopersici</i> <i>Stemphylium solani</i>	TYLCVirus TMVirus	<i>Aceria lycopersici</i> <i>Tetranychus urticae</i>	<i>Agrilus</i> spp. <i>Germis lacid</i> <i>Helicoverpa armigera</i> <i>Lycomyza trifoli</i>	<i>Myzus persicae</i> <i>Spodoptera</i> spp. <i>Trichoplusia ni</i>	<i>Zonocerus variegatus</i> <i>Meloidogyne</i> spp.	
AU NIVEAU DU MATERIEL VEGETAL											
Résistance variétale	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tolérance variétale	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Moindre sensibilité variétale	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Semences certifiées saines	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Porte greffes résistant ou tolérant	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Variétés à cycle court	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Port des variétés	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Désinfection par fermentation	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Thermothérapie	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Traitement des semences par des produits phytosanitaires	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
AU NIVEAU DE LA PÉPINIÈRE											
Lieu de la pépinière	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Choix de la période de semis	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Préparation du sol	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
pépinière surélevée	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
bêchage	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ratisage, nivellement	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
bonne fertilisation	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
matière organique bien décomposée	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pépinière en mottes, pots ou sachets de compost	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Protection physique	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
voiles non-tissés ou tissés	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
toitures contre la pluie	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Densité et profondeur de semis	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
faible densité de semis	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
profondeur de semis adaptée	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Doses, périodes et fréquences d'irrigation	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
éviter l'excès d'humidité	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Qualité de l'eau	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
salinité importante	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Désherbage correct	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Binage régulier	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Élimination de plants atteints	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Éliminer les plants qui présentent des symptômes d'attaques	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Éliminer plants fortement atteints	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Traitement du sol par la chaleur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Collecte manuelle de ravageurs	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Lâchés d'auxiliaires	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Destruction plants restant après remplacements	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Traitements avec des produits phytosanitaires	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
traitement du sol	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
traitement organes aériens	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

N. B. La légende se trouve après le dernier tableau page 26.



1.b. TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES MÉTHODES DE LUTTE EN CULTURE DE TOMATE

Méthodes de lutte	Principaux ennemis																										
	Bactéries		Champignons						Virus		Acarie		Insectes				Nématodes										
	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	<i>Xanthomonas vesicatoria</i>	<i>Alternaria solani</i>	<i>Cladosporium fulvum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Leveillula taurica</i>	<i>Phytophthora parasitica</i>	<i>Phytophthora infestans</i>	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Septoria lycopersici</i>	<i>Stemphylium solani</i>	TYLC Virus	TM Virus	<i>Aculops lycopersici</i>	<i>Tetranychus urticae</i>	<i>Agrotis</i> spp.	<i>Bemisia tabaci</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	<i>Liriomyza trifolii</i>	<i>Myzus persicae</i>	<i>Spodoptera</i> spp.	<i>Trichoplusia ni</i>	<i>Zonocerus variegatus</i>	<i>Meloidogyne</i> spp.	
AU NIVEAU DU CHAMP																											
Choix de la période de plantation																											
Choix et préparation du terrain																											
jachère nue																											
engrais vert																											
rotation des cultures		3*			5*																						
voisinage de culture sensible	X	X	X	X		X		X			X	X	X					X	X	X	X	X	X				
voisinage de brise-vents ou arbres sensibles																						X					X
brises vents excessifs	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X								X							
submersion prolongée du terrain																											
labour profond																											
hersage																											
fraisage																											
bêchage																											
chaulage																											
matière organique bien décomposée																											
matière organique mal décomposée											X																
compost avec chitine																											
sols argileux					X			X	X																		
bon drainage																											
sol non salé																											
plantes pièges en rotation																											
éviter zones à brouillard ou forte rosée persistants																											
Mode de culture																											
faible densité de plantation																											
forte densité de plantation	X	X	X				X																				
association de cultures non sensibles																											
irrigation à la raie					X	X										X		X			X						X
irrigation goutte à goutte					X											X		X			X						
irrigation par aspersion	X	X	X				X																				
plantes pièges associées																											
cultures intercalaires																											
association de cultures à cycles différents		X			X						X	X			X	X		X	X							X	
plants en mottes, pots ou sachets																											
culture sous toiture contre la pluie					X										X		X			X							
filets, voiles tissés ou non-tissés			X																								
Entretien de la culture																											
paillage																	X	X			X						
fumure phosphatée équilibrée																											
bonne fumure azotée																											
excès d'azote				X		X	X						X														
fertilisation foliaire																											
binage																											
buttage																											
maintenir les outils propres ou désinfectés																											
désherbage régulier																											
irrigation matinale																											
irrigation saturante	X																										X
forte humidité du sol	X			X		X	X	X	X																		

.c. TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES MÉTHODES DE LUTTE EN CULTURE DE TOMATE

Méthodes de lutte	Principaux ennemis																											
	Bactéries		Champignons							Virus		Acarie		Insectes				Nématodes										
	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	<i>Xanthomonas vesicatoria</i>	<i>Alternaria solani</i>	<i>Cladosporium fulvum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Leveillula taurica</i>	<i>Phytophthora parasitica</i>	<i>Phytophthora infestans</i>	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Septoria lycopersici</i>	<i>Stemphylium solani</i>	TYLC Virus	TM Virus	<i>Aculops lycopersici</i>	<i>Tetranychus urticae</i>	<i>Agrotis spp.</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	<i>Liriomyza trifolii</i>	<i>Myzus persicae</i>	<i>Spodoptera spp.</i>	<i>Trichoplusia ni</i>	<i>Zonocerus variegatus</i>	<i>Meloidogyne spp.</i>		
arracher, ramasser et détruire les plantes atteintes																												
arracher, ramasser et éliminer les plantes sévèrement atteintes																												
ramasser et éliminer les organes atteints																												
arracher, ramasser et détruire les plantes arrivées en fin de récolte																												
taille des plantes															X													
effeuillage														X														
tuteurage																												
ne pas parcourir le champ au feuillage humide																												
collecte manuelle des ravageurs																												
lâchés d'auxiliaires																												
Utilisation de produits phytosanitaires																												
Stades de l'intervention																												
préparation du sol																												
jeune plant																												
stade végétatif																												
floraison																												
fructification																												
début de récolte																												
1ère partie de la période de récolte																												
récolte après pic de production																												
Type d'intervention																												
préventif																												
curatif																												
dès apparition premiers symptômes ou ravageurs																												
sur seuil d'intervention																												
Localisation du traitement																												
collet																												
feuillage																												
face inférieure des feuilles																												
tige																												
fruit																												
appâts																												
sol localisé en bande																												
trou de plantation																												
motte																												
goutte à goutte																												
sol autour des pieds																												
brise vents ou bordure des champs																												
Stratégie anti résistance																												
alternance																												
mélange (association)																												
Fongicides																												
unisite																												
multisite																												



1.d. TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES MÉTHODES DE LUTTE EN CULTURE DE TOMATE

Méthodes de lutte	Principaux ennemis																										
	Bactéries		Champignons						Virus		Acarie		Insectes				Nématodes										
	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	<i>Xanthomonas vesicatoria</i>	<i>Alternaria solani</i>	<i>Cladosporium fulvum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Leveillula taurica</i>	<i>Phytophthora parasitica</i>	<i>Phytophthora infestans</i>	<i>Pythium aphanidermatum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Septoria lycopersici</i>	<i>Stemphylium solani</i>	TYLC Virus	TM Virus	<i>Aculops lycopersici</i>	<i>Tetranychus urticae</i>	<i>Agrotis spp.</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	<i>Liriomyza trifolii</i>	<i>Myzus persicae</i>	<i>Spodoptera spp.</i>	<i>Trichoplusia ni</i>	<i>Zonocerus variegatus</i>	<i>Meloidogyne spp.</i>	
Insecticides																											
organo-phosphorés et carbamates																											
pyréthrinoïdes et organo-chlorés																											
IGR (régulateurs de croissance)																											
autres chimiques																											
produits microbiologiques																											
produits naturels (à base de plante)																											
antibiotiques																											
Acaricides																											
organo-stanniques																											
ovolarvicides spécifiques																											
dérivés diphénylés																											
l'amitraz (formamidine)																											
pyréthrinoïdes et organo-chlorés																											
le pyridabène																											
antibiotiques																											
Faible ou moyenne toxicité																											
Court délai de carence																											
Respect des auxiliaires																											
faible ou moyenne rémanence																											
faible toxicité sur les auxiliaires																											
Faible danger pour l'utilisateur																											
Respect de l'environnement																											
faible solubilité dans l'eau																											
peu dangereux pour le système aquatique																											
peu dangereux pour les mammifères																											
peu dangereux pour les oiseaux																											
peu dangereux pour les abeilles																											
AU NIVEAU DE LA RECOLTE ET DE LA CONSERVATION																											
ramassage et destruction des résidus de culture																											

Légendes

Pour les méthodes de lutte sans utilisation de produits phytosanitaires

- Méthode éprouvée applicable de suite
- Méthode potentielle à confirmer
- Non disponible, sans effet ou pas d'effet connu
- A éviter car favorise la maladie ou le parasite
- * Durée minimale de la rotation (en années)

Pour les méthodes de lutte avec utilisation de produits phytosanitaires

TRAITEMENT DES SEMENCES	<input checked="" type="checkbox"/> Existence de produits	<input type="checkbox"/> Existence de produits à tester	<input type="checkbox"/> Pas de produits connus
STADE D'INTERVENTION	<input checked="" type="checkbox"/> Conseillé	<input type="checkbox"/> Mérite d'être testé	<input type="checkbox"/> Traitement impossible ou i
TYPE D'INTERVENTION	<input type="checkbox"/> Possible	<input type="checkbox"/> Méritant des essais	<input type="checkbox"/> Intervention impossible ou
LOCALISATION DU TRAITEMENT	<input type="checkbox"/> Localisation conseillée	<input type="checkbox"/> A tester	<input type="checkbox"/> Impossible ou inutile
STRATEGIE ANTI-RESISTANCE	<input checked="" type="checkbox"/> Conseillé	<input type="checkbox"/> Potentiel	<input type="checkbox"/> Inexistant ou non conseillé
FAIBLE TOXICITE	<input checked="" type="checkbox"/> Existence de produits	<input type="checkbox"/> Existence de produits à tester	<input type="checkbox"/> Pas de produits connus
COURT DELAI DE CARENCE	<input checked="" type="checkbox"/> Existence de produits	<input type="checkbox"/> Existence de produits à tester	<input type="checkbox"/> Pas de produits connus
RESPECT DES AUXILIAIRES	<input checked="" type="checkbox"/> Existence de produits	<input type="checkbox"/> Existence de produits à tester	<input type="checkbox"/> Pas de produits connus
FAIBLE DANGER POUR UTILISATEUR	<input checked="" type="checkbox"/> Existence de produits	<input type="checkbox"/> Existence de produits à tester	<input type="checkbox"/> Pas de produits connus
RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT	<input checked="" type="checkbox"/> Existence de produits	<input type="checkbox"/> Existence de produits à tester	<input type="checkbox"/> Pas de produits connus

4.1. Méthodes de lutte ne nécessitant pas l'utilisation de produits phytosanitaires

Le producteur essayera avant tout d'utiliser des méthodes de lutte qui n'utilisent pas de produits phytosanitaires. Ce sont généralement des mesures préventives qui évitent le développement des populations d'ennemis préjudiciables à la culture. **Les mesures préventives à adopter de façon générale contre la plupart des ennemis sont signalées par une flèche --> .**

4.1.1 Choix du matériel végétal

En Production et Protection Intégrées les caractéristiques du matériel végétal sont primordiales afin de limiter les dégâts des ennemis des cultures (cf. annexe 1, page 60 à 66) pour des informations complémentaires).

N'oublions cependant pas que la production doit convenir aux exigences du consommateur. Le choix final de la variété résultera donc d'un compromis entre les exigences du marché, les rendements potentiels et les avantages au niveau de la protection de la culture. Des considérations économiques (prix des semences) influenceront aussi le choix de la variété. D'autre part il ne faut pas oublier que l'utilisation de variétés résistantes, tolérantes ou moins sensibles doit venir en complément d'autres méthodes de lutte.

Matériel végétal à considérer:

- **Variétés résistantes, tolérantes, ou moins sensibles** (cf. annexe 1 - page 60)

Exemples :

- «Amethyst» variété de pomme de terre résistante à *Phytophthora infestans*
- Il existe des variétés de chou moins sensibles à *Plutella xylostella*: F1 Rotan, F1 Quattro, F1 Vénus, F1 Pluto
- Les variétés de jaxatu Lignée 10 et Lignée 18 du Centre pour le Développement de l'Horticulture (Sénégal) sont tolérantes aux acariens grâce à une pilosité abondante.

Pour la tomate

Exemples de résistance :

- au *Pseudomonas solanacearum* : Caraïbo, F1 Caracoli, F1 Calinago, King kong, Caraïbo, Rodade, Zest
- au *Stemphylium solani* : Floradade, F1 Caracoli
- au TMV : Estrela, F1 Darus, F1 Cristina, F1 Elena, F1 Evita, F1 SC13
- au *Cladosporium fulvum* : F1 Darus
- au *Fusarium* : F1 Heatmaster, Floradade
- au *Phytophthora infestans* : Fline

Exemples de tolérance :

- au *Meloidogyne* : Xina 8-4-1-11, Rossol
- Attention : des températures très élevées peuvent aboutir à une rupture de résistance, d'autre part la résistance ne couvre pas toujours toutes les espèces.
- au *Xanthomonas campestris p.v. vesicatoria* : Xina 8-4-1-11, Xina 8-4-1-G
 - au TYLCV : F1 Fiona, F1 Jackal
- Exemples de moindre sensibilité :
- à *Liriomyza trifolii* : F1 Hope n° 1

- **Porte-greffes résistants ou tolérants** (cf. annexe 1 - page 64)



Le greffage sur des portes greffes résistants à une ou des maladies d'origine tellurique, permet d'utiliser des variétés à fort potentiel de production mais qui sont sensibles à un ou des ennemi donnés.

En pays Méditerranéens, on dispose de porte-greffes de tomates résistants aux *Fusarium*, *Verticilium*, *Meloidogyne* et au corky root, et de portes greffes de melons et concombres résistants à la fusariose. Pour les pays tropicaux, il existe des porte-greffes résistants au flétrissement bactérien, pour la tomate et l'aubergine, résistant aux *Meloidogyne*, pour l'aubergine également, et résistant à la fusariose, pour la pastèque. Cette technique est très utilisée en Asie. Le greffage doit se faire en conditions d'humidité élevée. Si l'humidité descend sous 80 % il faut encapuchonner le greffon sous un sachet plastique perforé au coin. La greffe en double fente terminale et la greffe en perforation latérale sont les plus utilisées.

TABLEAU IV.4
Exemples de porte-greffes utilisés en régions chaudes

Greffon	Porte-greffe	Parasites combattus
Tomate	Tomate CRA66	<i>Pseudomonas solanacearum</i> , fusarioses
	Tomate CRA 257	<i>Pseudomonas solanacearum</i> , fusarioses, <i>Meloidogyne</i>
	<i>Solanum aethiopicum</i> « lizuka »	<i>Pseudomonas solanacearum</i> , fusarioses
Aubergine	<i>Solanum aethiopicum</i> « lizuka »	<i>Pseudomonas solanacearum</i>
	Aubergine « Ceylan SM 163 »	<i>Pseudomonas solanacearum</i>
	<i>Solanum torvum</i>	<i>Pseudomonas solanacearum</i> , <i>Verticilium</i> , <i>Meloidogyne</i> , <i>F. solani</i>
Pastèque	<i>Lagenaria siceraria</i>	Fusariose

Le greffage nécessite un degré de technicité et d'hygiène qui ne sont pas à la portée de tout horticulteur. Il faut, en effet, d'abord obtenir les deux partenaires par semis, réaliser les greffages, éviter les contaminations du porte-greffe (maladies vasculaires et virus peuvent se transmettre par voie systémique du porte-greffe vers les greffons), etc... Cette technique serait donc à préconiser auprès de pépiniéristes spécialisés qui assureraient la production et la commercialisation des plants greffés en vue d'approvisionner les producteurs de légumes proprement dits.

--> *Les variétés à cycle court permettent d'échapper partiellement à certains ravageurs* (cf. annexe 1 - page 65)

Plus le cycle d'une plante est bref, moins il y a de risques d'attaque par un ennemi qui met du temps à s'installer et à être dommageable pour la culture.

Exemples de variétés à cycles courts

- Pomme de terre Charlotte
- Chou F1 Oxylus, Acre d'or, Marché de Copenhague
- Oignon Violet de Galmi, Blanc de Soumarana

Pour la tomate

- Tomate Estrela et Xina

• --> *Matériel végétal sain* (cf. annexe 1 - page 65)

Il faut utiliser des semences saines pour réduire les risques d'apparition de certaines maladies transmises par les graines. Des semences produites sous contrôle strict peuvent être indemnes d'ennemis transmissibles par la graine. Il est donc préférable d'utiliser des semences commerciales certifiées plutôt que de produire ses propres semences, ou d'acheter des semences d'origine non contrôlée.

Exemples :

- Les semences de chou peuvent porter les maladies suivantes: *Xanthomonas*, *Alternaria*, *Mycosphaerella*, *Phoma*.
- La fermentation après extraction des semences des fruits permet d'éliminer les bactérioses.
- Un traitement à l'eau de javel permet de désinfecter l'extérieur de la semence.
- Un traitement des semences à l'eau chaude permet d'inactiver certains virus.

Exemples :

1. Le TMV est éliminé des semences de tomate avec un traitement de 50 à 52 °C pendant 2 jours, suivi d'une période d'1 jour à 78-80 °C
2. Le traitement de semences de tomate à 72 °C pendant 22 jours élimine le TMV sans perte de viabilité.
3. Le traitement de semences de concombre à 76 °C pendant 3 jours élimine le Cucumber Green Mottle Virus
4. Le traitement de semences de concombre à 55°C pendant 6 minutes élimine ce Cucumber mosaic virus.

Pour la tomate

- Les semences de tomate peuvent porter les maladies suivantes: *Clavibacter*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Septoria*

- **Le port des variétés permet d'éviter certains problèmes phytosanitaires ou autres**
 - Les variétés de pomme de terre à tiges courtes et/ou non érigées se couchent et se brisent moins facilement au vent.
 - Pomme de terre à tiges dressées sont plus faciles à butter, donc moins blessées, elles risquent moins des attaques de *Rhizoctonia solani*.

Pour la tomate

- Une variété à port tombant verra sa fructification mise en contact du sol et les fruits seront attaqués par *Rhizoctonia solani*. Une variété érigée, ou les fruits touchent moins le sol sera moins attaquée
- L'abondance ou non du feuillage peut aussi jouer un rôle :
 - feuillage très abondant : pourriture en saison humide
 - feuillage très peu abondant (dégâts oiseaux, coups de soleil sur fruits)

- **Désinfection par fermentation**

Pour la tomate

Une fermentation pendant 24 h à 30°C ou 48 h à 20°C, après extraction des semences permet d'éliminer l'*Alternaria solani* sur les graines.

- **Thermothérapie**

Un traitement des semences à la chaleur permet d'inactiver ou de détruire certains ennemis. Cette opération peut se faire en trempant les graines pendant 25 minutes dans une eau maintenue à 50°C. Ce traitement est délicat car il demande de bien contrôler la température. Une température trop faible sera inefficace et une température trop élevée tuera les semences.

Une température trop faible sera inefficace. Une température trop élevée tuera les semences.



4.1.2. Pépinière

Un soin particulier doit être apporté aux pépinières afin d'obtenir des plants vigoureux et indemnes de toutes attaques (cf. annexe 2 page 67 à 78).

Techniques ou opérations à considérer en pépinière:

- **Choix du lieu de la pépinière** (cf. annexe 2 page 67)

Il est crucial de choisir comme endroit pour réaliser la pépinière un sol indemne d'ennemis mais aussi un environnement sain (sans mauvaises herbes ni vieilles cultures avoisinantes). Des conditions de sol propices à la germination des graines et au développement des jeunes plants (pas de sol lourd et inondable). Il faut également éviter des endroits trop ombragés qui feront filer les plants et les rendront fragiles.

- **Le choix de la période de semis en pépinière permet d'éviter certains ravageurs**

Quand c'est possible, il est préférable de réaliser le semis en dehors des périodes de pullulation des ennemis.

Exemples :

- La pépinière de chou ou de tomate pour les productions d'hivernage se fera de préférence avant le début des pluies pour éviter les fontes de semis.

Pour la tomate

- une culture de tomate dont la pépinière a été effectuée en dehors de la période de pullulation de la mouche blanche *Bemisia tabaci* sera moins attaquée par le TYLCV car ce virus est transmis à la plante par cet insecte

- **Une bonne préparation du sol permet de mettre les plants dans de bonnes conditions :**

– Un bon ratissage et nivellement permettent d'obtenir une pépinière plane qui diminue les risques d'accumulation ou de manque d'eau en certains endroits. Un meilleur nivellement aboutit également à une profondeur de semis plus régulière. D'autre part, le ratissage permet d'obtenir un lit de semis fin favorisant une levée rapide, entravant les maladies de faiblesse provoquées par un développement lent des plantules.

– Il convient d'éviter les sols trop humides, favorisant les ennemis, fongiques et bactériens, de la germination et des jeunes plants. Dans certains cas, on surélèvera le sol de la pépinière pour éviter cet inconvénient. Ce point est important en saison des pluies.

- --> **Une bonne fertilisation permet d'obtenir des plants vigoureux**

Une bonne fertilisation équilibrée N/P2O5/K2O favorisera l'obtention de plants vigoureux. Un excès d'N fragilisera les plantules.

- --> **Amendement**

L'adjonction de matière organique bien décomposée permet de diminuer par exemple les attaques de nématodes à galles et de *Pyrenochaeta terrestris* (racines roses de l'oignon). Dans un sol sableux, mettre environ 5 kg de matière organique par m².

- **La pratique de la pépinière en mottes, pots ou sachets de compost** (cf. annexe 1 page 66):

L'utilisation d'un compost sain, sans contact avec le sol, procure des plants indemnes d'ennemis provenant du sol (nématodes, maladies des racines et du collet, ...).

- **La protection physique contre les aléas climatiques (pluie, vent, soleil) peut être réalisée avec** (cf. annexe 2 page 69):

- des voiles non-tissés ou tissés contre le vent et la pluie ;
- des haies ou des clôtures contre le vent et le soleil ;
- des toitures (crinting, feuilles de palmier ou autres) contre le soleil et la pluie (attention ! un ombrage excessif peut être nuisible).

Les protections contre la pluie permettent d'éviter l'excès d'eau, dans le sol et sur les plantes, qui est un facteur favorisant certaines maladies. Les risques de transmission via les éclaboussures sont également réduits. Cela évite également la destruction mécanique des jeunes plants par les fortes pluies.

- --> **Densité et profondeur de semis**

- Pour beaucoup de cultures de faibles densités de semis (écartements de 1 cm entre les graines sur la ligne et de 20 cm entre les lignes de semis) permettent d'obtenir des plants vigoureux, non étiolés et donc moins sensibles aux attaques des maladies du collet, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* et *Phytophthora parasitica*. D'autre part, l'aération de la pépinière est meilleure et réduit les risques des maladies du collet et foliaires, *Xanthomonas*, *Peronospora* et *Alternaria*.
- Une profondeur de semis adaptée à l'espèce et au sol permet une germination rapide défavorable à l'installation des ennemis de faiblesse que l'on peut trouver en pépinière. Il est donc important de ne pas semer trop profondément.

- --> **Les doses, périodes et fréquences d'irrigation doivent être raisonnées afin de diminuer les risques d'excès d'eau**

Une irrigation en excès provoque une mauvaise croissance des plantules favorisant les attaques de faiblesse. Une humidité persistante en excès est également favorable à la croissance de certains champignons et bactéries.

- Par exemple après levée une irrigation journalière le matin et en dose correcte permettra de limiter le développement des *Alternaria*, *Rhizoctonia*, *Pythium* et *Phytophthora* en pépinière de chou et de tomate.

- --> **La qualité de l'eau doit être irréprochable pour permettre un bon développement des plants** (cf. annexe 2 page 69)

Une salinité trop importante provoque un retard à la germination qui favorise l'installation de fontes de semis. Une eau trop salée favorise le développement de *Rhizoctonia solani* et ralentit la levée.

- --> **Un désherbage correct permet :**

- d'obtenir des plants plus vigoureux par une bonne utilisation des fertilisations sans concurrence ;
- une diminution des risques de maladies bactériennes et fongiques par une bonne ventilation de la pépinière ;
- d'éliminer des plantes qui peuvent être des réservoirs ou refuges d'ennemis.

- --> **Un binage régulier permet :**

- de diminuer les populations d'*Agrotis* en exposant les larves à leurs ennemis.
- d'améliorer l'aération du sol et favoriser une croissance vigoureuse des plantes ;
- d'améliorer l'efficacité de l'arrosage ;



- **Protection mécanique contre les ravageurs** (cf. annexe 2 page 69)
 - Si le sol de la pépinière ne contient pas l'ennemi, la barrière physique offerte par le voile permet d'obtenir des jeunes plants peu ou pas attaqués par les insectes. Les voiles non-tissés et tissés en pépinière de chou, tomate, jaxatu, ..., permettent de limiter les attaques de certains insectes (chenilles défoliatrices, mineuses des feuilles, mouche blanche).

Pour la tomate

- Les plants issus de pépinières sous voile sont très peu infectés par le TYLCV car le vecteur (la mouche blanche) n'arrive pas à atteindre les plants protégés par le voile.
- Les clôtures permettent d'éviter les dégâts d'animaux domestiques (porc, mouton, chien, ...) ou sauvages (rongeurs, ...)
- --> **L'élimination régulière des plants malades permet de diminuer les risques de propagation du ravageur en pépinière**
Exemples :
 - éliminer les plants présentant des attaques sérieuses de maladies virales, fongiques ou bactériennes
 - éliminer les plants de chou borgnes ou présentant une défoliation importante
- **Collecte manuelle des ravageurs**
Certains insectes de grande taille peuvent être récoltés et éliminés manuellement. Cette opération peut-être réalisée de façon constante par toute personne effectuant régulièrement des travaux dans la pépinière (par exemple lors des binages et désherbages). Elle peut également être effectuée en cas de besoin par une personne mobilisée pour ce travail ou chargée du suivi phytosanitaire de la pépinière.
- **Les traitements du sol par la chaleur permet de lutter contre plusieurs ravageurs du sol; il peut être réalisé par exemple par :**
 - solarisation (cf. annexe 2 page 68)
 - stérilisateur
 - vapeur
 - micro-ondes
- --> **Elimination, avant repiquage, des plants attaqués, mal formés ou peu vigoureux**

Cette opération est à réaliser au moment du prélèvement des plants de la pépinière pour éviter d'emmener des ravageurs au champ et repiquer uniquement des plants vigoureux.

Il est important de ne pas transplanter aux champs des jeunes plants porteurs du moindre symptôme de maladies bactériennes, virales, présentant des attaques au collet ou porteurs de galles au niveau des racines. En effet, au champ, ces plants se développeront très mal ou pas du tout et ils ne pourront pas être traités efficacement. D'autre part, ils constitueront au champ un foyer d'infection pour les autres plantes ou pour d'autres cultures.

Pour d'autres ennemis tels que par exemple, la mineuse des feuilles, les pucerons, *Stemphylium solani* ou *Alternaria solani*, seuls les plants fortement atteints, et ne pouvant connaître un développement correct au champ, seront éliminés. Les plants légèrement atteints constituent certes des foyers d'infection mais ces ennemis peuvent être contrôlés efficacement par des traitements ou des ennemis

naturels ou connaître une régression du fait des conditions environnementales du champ.

- --> **Destruction des plants restant en pépinière après repiquage des manquants**
Les plants restants en pépinière seront arrachés avec les racines puis brûlés ou enterrés dans un sol non cultivé, de façon à ne pas constituer un réservoir potentiel de ravageurs, maladies pour les nouvelles pépinières ou pour les cultures avoisinantes.
- **Des lâchés d'auxiliaires commerciaux pourraient être testés en conditions tropicales**
Par exemple contre : *Liriomyza* (Parasitoïdes : *Dacnusa sibirica*, *Diglyphus isaea*) et *Myzus persicae* (Hyménoptères parasitoïdes : *Aphidius colemani*, *Aphidius ervi* ; Cécidomyie prédatrice : *Aphidoletes aphidimyza* ; Coccinelle : *Harmonia axyridis*).

4.1.3 Au champ

Au niveau du champ plusieurs opérations sont possibles pour diminuer le niveau des infestations

4.1.3.1. Pratiques culturales

L'adoption de pratiques culturales appropriées peut permettre de réduire sensiblement le développement de certains ravageurs. Certaines de ces pratiques sont à choisir ou à effectuer bien avant la mise en place de la culture. Les cultures sous abris et les cultures hors-sol constituent des modes de cultures particuliers qui doivent être considérées séparément; elles ne seront donc pas mentionnées ici mais figurent en annexe 11 (page 139).

Pratiques culturales à prendre en considération :

- **Le choix de la période de semis ou de plantation**
Quand c'est possible pour le producteur, le choix de certaines périodes de plantation permet d'éviter la pullulation de certains ravageurs.
Par exemple au Sénégal un repiquage précoce d'oignon permet d'éviter la pullulation des thrips qui a lieu en période de fortes chaleurs.

Pour la tomate

Par exemple, au Sénégal, repiquer la culture en janvier plutôt qu'en novembre évite la pullulation de la mouche blanche *Bemisia tabaci*, vecteur du TYLCV.

- **Choix du terrain (thème déjà abordé précédemment, voir page 15)**

– Jachère (cultivée ou nue) (cf. annexe 2 page 67)

Exemples :

- Une jachère cultivée en arachide (plante piège) ou en céréale non attractives pour les nématodes à galles permet de diminuer la population de *meloidogyne* dans le sol.
- Une jachère nue permet de diminuer la population des nématodes à galles ; par exemple entre deux cultures sensibles. Plus la durée de la jachère est longue et moins grande sera la population de nématodes pour la culture suivante. Une jachère nue d'au moins 5 ans permet de réduire fortement la population de *Meloidogyne*.



Pour la tomate

- Réaliser une culture d'engrais vert, non sensible aux ennemis de la tomate (ex. sorgho fourrager), peut constituer une rotation utile pour baisser les populations de certains ravageurs. Il faut éviter les engrais verts de la famille des légumineuses favorisant *Pythium*, *Rhizoctonia solani* et *Sclerotium rolfsii*.

– *Plante nettoyante en précédent cultural*

Une culture de patate douce ou de niébé rampant permet d'obtenir un sol propre en mauvaises herbes après la récolte

– *La rotation des cultures*

Elles est conseillée pour assurer l'équilibre des populations des agents pathogènes afin de les garder à un niveau acceptable.

Il s'agit d'une technique préventive de base pour éviter de multiplier au champ des ravageurs généraux, spécifiques d'une culture ou d'une famille.

Exemples :

- Fusarioses et Verticillioses - Rotation longue sans plantes sensibles.

Pour la tomate

- On évitera des précédents appartenant à la famille des solanacées (aubergines, piment, pomme de terre, ...) ou pouvant héberger des ennemis communs (haricot, carotte, cucurbitacées, ...). Des cultures comme l'oignon, l'ail, le chou et les céréales sont de bons précédents

– *Les cultures environnantes*

Elles peuvent porter des ravageurs qui pourront se déplacer sur l'espèce que l'on veut cultiver. Il faudra en tenir compte lors du choix de l'espèce à cultiver ou les arracher si possible. Par exemple on évitera de cultiver une espèce sensible aux acariens rouges à proximité d'une culture portant déjà des populations importantes de ce ravageur.

– *Les brise-vents*

Ils peuvent favoriser ou défavoriser certains ravageurs ou les auxiliaires (il peut s'agir de brise-vents fixes ou amovibles, morts ou vivants) (cf. annexe 2 page 69)

Exemples de ravageurs défavorisés :

- acariens et oïdium par la création d'un micro-climat plus humide

Exemples de ravageurs favorisés :

- pucerons si les brise-vents sont attractifs et non traités
- les brise-vents peuvent être des réservoirs de nématodes à galles (*Prosopis*, *Euphorbia*)
- si la perméabilité des brise-vents est inférieure à 50%, cela crée un microclimat favorable à de nombreux ennemis

– *Submersion du terrain*

Exemple:

- les bas-fonds inondés pendant plusieurs mois pendant la saison des pluies contiennent très peu de nématodes à galles et de *Pseudomonas solanacearum*

– *Sols argileux*

Un sol lourd favorise un excès d'humidité provoquant le développement de maladies et réduisant la résistance des plantes. Par contre, il diminue le développement des nématodes en limitant leur déplacement.

– *Salinité du sol*

Un sol salé favorise le développement du *Rhizoctonia solani* et ralentit la croissance des plantes.

- *Les zones à brouillard / rosée persistants doivent être évités*

Pour la tomate

Ces zones favorisent fortement le développement de champignons de maladies foliaires tels que *Alternaria solani*, *Stemphylium solani*, *Cladosporium fulvum* et *Phytophthora infestans*.

• Préparation du terrain

– Irrigation

Il y a moyen de diminuer le réservoir en mauvaises herbes d'une parcelle en l'irriguant de façon à provoquer leur germination et en l'interrompant ensuite pour que les plantules de mauvaises herbes se dessèchent.

– Travail du sol (défonçage, labour, hersage, fraissage, culture sur butte, culture en creux) (cf. annexe 2 page 68)

Exemples :

- Le fraissage permet de diminuer le nombre de chenilles d'*Agrotis* (ravageur polyphage) dans le sol. Cette opération permet une destruction mécanique possible d'une partie des ennemis vivant dans le sol. D'autre part elle remonte une partie des ennemis en surface où ils peuvent être détruits plus facilement par des ennemis naturels (oiseaux, hyménoptères et diptères prédateurs ou parasites, etc...).
- Un labour profond permet l'enfouissement des larves et pupes ou chrysalides d'insectes à une telle profondeur qu'elles sont détruites.

– Les amendements (chaulage, matière organique, oligo-éléments, acides humiques et fulviques liquides...)

Ils permettent de modifier le pH, la fertilité, la texture, la structure, la composition du sol peuvent également favoriser ou défavoriser certains ravageurs par une action bénéfique sur le développement de la plante ou par une action directe sur le ravageur (cf. annexe 2 page 68)

Exemples :

- Dans les sols trop acides, un chaulage permettra (en élevant le pH à 6,5-7,5) de limiter les dégâts de *Plasmiodiophora brassicae* en culture de chou et de *Fusarium* en culture de gombo et de tomate. L'augmentation de pH du sol diminue également les attaques de *Pseudomonas* mais il favorisera le *Verticillium* en culture de tomate si le pH est trop élevé.
- Une matière organique abondante favorisera le *Sclerotium rolfsii* mais sera utile pour lutter contre les nématodes *Meloidogyne*, la maladie des racines roses de l'oignon et permettra en allégeant le sol de retirer plus facilement les mauvaises herbes (*Cyperus*, *Imperata*).
- Un compost contenant 4% (en poids) de carapaces de crevettes séchées (chitine) lors de sa fabrication possède un effet nématocide.

– Fertilisation de fond (cf. annexe 2 page 68)

– Solarisation

Cette technique appliquée pendant une dizaine de jours permettrait de diminuer les attaques de *Pythium* et de *Rhizoctonia*. Des durées plus longues permettraient de lutter contre nématodes, fusarioses et verticillioses.

– Drainage

En évitant l'excès d'humidité on diminue les risques de développement de certaines maladies et on assure une croissance rapide des plantes.

• Mode de culture

– Les associations



Elles peuvent selon les cas favoriser ou défavoriser les ravageurs et/ou les auxiliaires(cf. annexe 2)

Le fait d'associer des cultures qui n'ont pas d'ennemis communs permet dans certains cas de réduire la pression parasitaire par différents mécanismes. La plante associée à la culture principale peut permettre de rendre le champ moins attractif à certains ennemis de la culture principale. L'association peut également permettre d'entraver la progression de certains ennemis (*Pseudomonas*, *Meloidogyne*,...) de plante à plante. La plante associée peut également jouer un rôle d'abris/nourriture pour des auxiliaires et favoriser ainsi leur action.

Cependant ; il ne faut pas associer des cultures sensibles aux mêmes ennemis mais de cycle différent pour éviter d'entretenir des réservoirs/refuges d'ennemis.

Exemples :

- L'association de tomate et du chou permet de diminuer les attaques de *Plutella xylostella*.
- Les papayers ne doivent pas être associés aux cultures maraîchères car ils constituent des réservoirs à *Meloidogyne* et à acariens rouges.

– *Plantes pièges associées*

Exemples :

Pour la tomate

- Des plantes pièges, comme un cycle complet de culture d'arachide ou des semis répétés de tomates arrachées 3 semaines après levée, permettent de réduire les populations de *Meloidogyne* dans le sol.
- L'amarante associée à la tomate attire préférentiellement les mouches blanches et donc diminue les risques de TYLCV. Cette amarante pourra être traitée pour diminuer la population de mouches blanches dans le champ.
- Des plants d'oseille de Guinée associés à la tomate permettent de réduire le niveau d'infestation de la mineuse des feuilles. Les mouches mineuses attirées par l'oseille de Guinée y pondent leurs œufs. Le développement de ces œufs est ensuite empêché par des substances sécrétées par la plante.

– *Cultures intercalaires*

Pour la tomate

- Des lignes de plantes non sensibles à *Pseudomonas solanacearum* intercalées entre les lignes de tomate ralentissent la dissémination de cette bactérie.
- Une ligne de rose d'Inde à fleurs jaunes (*Tagetes erecta*) toute les 16 lignes de tomate sert de plante piège pour *Helicoverpa armigera*.

– *Repiquage (cf. annexe 2 page 72)*

Exemples :

- La plantation de plants en mottes évite le stress du repiquage et permet de retarder les attaques de nématodes ou de maladies du collet.
- Le repiquage en poquets de compost sain permet de limiter les attaques de nématodes et de maladies du collet.
- --> Le repiquage des plants au bon stade et le positionnement correct des racines permettent d'obtenir des plants plus vigoureux qui se défendent mieux contre des agressions climatiques ou parasitaires.

– *Semis direct*

Exemples :

- laitue en saison chaude pour un meilleur enracinement
- oignon pour réduire le cycle de 10 à 20 jours

– *Profondeur de semis ou de plantation*

Exemples :

- un semis trop profond favorise le développement du *Rhizoctonia* en culture de haricot vert.
- par contre une plantation trop superficielle de pomme de terre favorise la ponte et donc les dégâts de teigne.

– *Densité de semis ou de plantation (cf. annexe 2 page 71)*

Pour la tomate

- En période de forte humidité, afin de diminuer les attaques de *Xanthomonas* et de *Cladosporium*, il est conseillé de favoriser l'aération des plantes en diminuant la densité de plantation (ex. pour la variété Xina, passer de 40 x 40 cm à 60 x 60 cm en période de risque).
- Une forte densité de plantation favorise le développement de *Xanthomonas*, *Alternaria*, *Cladosporium* et *Phytophthora infestans*, par une dissémination par contact des plantes entre elles et par le maintien d'une forte humidité faute d'aération.

– *Type d'irrigation*

Exemples :

- l'irrigation par aspersion favorise *Xanthomonas campestris*, *Cladosporium*, *Phytophthora infestans* et *Alternaria solani* sur tomate, *Pseudoperonospora cubensis* sur melon et concombre, mais défavorise (par effet mécanique ou présence d'eau) thrips, mouches blanches, pucerons, tétranyques et oïdium sur diverses cultures.
- l'irrigation à la raie véhicule la fusariose et les nématodes (gombo) et *Phytophthora capsici* sur poivron

Pour la tomate

- Le fait de ne pas mouiller les feuilles limite les risques de développement de maladies ayant besoin d'eau sur les feuilles pour se développer (*Xanthomonas*, *Alternaria*, ...). Par contre cela met d'autres ennemis dans des conditions idéales de développement (*Leveillula taurica*, *Tetranychus*, *Bemisia*, etc...). Ce mode d'irrigation a également le désavantage de transmettre par les canaux d'irrigation des ennemis tels que *Fusarium* et *Meloidogyne*.

- Du fait de ne pas mouiller les feuilles, l'irrigation goutte à goutte a les mêmes avantages et inconvénients que l'irrigation à la raie. Par contre au niveau du sol ce système d'irrigation ne véhicule pas de maladies telles que *Fusarium* et *Meloidogyne* ; au contraire il limite le déplacement des *Meloidogyne* car seule une partie du sol est humide et les nématodes ont besoin d'un sol mouillé pour se déplacer.

– *Culture sous toiture contre la pluie*

Une culture protégée des pluies sera moins sujette aux attaques de bactéries et de certains champignons. Par contre l'absence de pluies favorisera l'oïdium, les tétranyques, les mouches blanches et les pucerons.

– *Cultures sous filets ou voiles*

Permet d'assurer une protection physique contre une série d'insectes.



Pour la tomate

Limite indirectement le TYLCV en empêchant les piqûres de *Bemisia tabaci* mais peut favoriser certaines maladies tel que la Cladosporiose (humidité relative et mauvaise aération).

• *Entretien de la culture*

– --> *Désherbage, binage* (cf. annexe 2 page 76)

Il faut éliminer très régulièrement en culture tout adventice car celle-ci peut constituer un réservoir de pathogène, donc un potentiel infectieux permanent à côté des plantes. Le même raisonnement sera bon pour les abords de la culture. Par exemple : *Datura* sp. hôte privilégié de *Bemisia tabaci* ou le pourpier hôte de certains pucerons.

Une culture désherbée sera également mieux aérée, bénéficiera mieux de l'eau et des engrais qui lui sont destinés. Cela provoquera un effet indirect sur divers ennemis.

L'action de biner permet de mettre une partie des chenilles et chrysalides présentes dans le sol à la disposition des ennemis naturels.

– *Irrigation (doses, périodes, fréquences, qualité de l'eau)*

Exemples :

- Eviter l'irrigation saturante permet de limiter les déplacements des nématodes *Meloidogyne* dans le sol le développement de *Pseudomonas solanacearum*.
- Une humidité constante du sol jusqu'à la récolte permet de limiter les dégâts de *Cylas* sur patate douce et de *Rhizoctonia bataticola* sur pomme de terre.
- Une irrigation le matin plutôt que le soir permet aux plantes et au sol de sécher convenablement et d'éviter une humectation prolongée des feuilles et de la terre, conditions favorables au développement de diverses maladies fongiques (Mildiou sur chou et melon) et bactériennes.

– *Fertilisations (macro et oligo-éléments)* (cf. annexe 2 page 75)

Exemples :

- Une forte fertilisation azotée favorise le développement des tétranyques en culture de haricot et de *Phytophthora* et *Pythium* en culture de tomate, par contre elle limite les dégâts de *Pseudomonas* en culture de tomate
- Une fertilisation foliaire (engrais complet) peut compenser la difficulté de la plante à s'alimenter du fait d'attaques de maladies du collet ou des racines. Cette solution ne peut-être que temporaire. Une fertilisation foliaire compense avantagement des carences en oligoéléments mais pas en éléments majeurs où les besoins sont importants et où le coût/unité apportée est très élevé.
- Un apport de 50 UN sous forme directement assimilable (nitrate, urée) sera bénéfique à une culture de poivron attaquée par la maladie du blanc (*Leveillula taurica*)
- Un manque de P2O5, de CaO ou d'N favorise le *Fusarium*

– *Taille, effeuillage et tuteurage* (cf. annexe 2 page 72)

Exemples :

Pour la tomate

- Le tuteurage permet par exemple de mettre les fruits de tomate à l'abri de maladies fongiques qui proviennent du sol (*Rhizoctonia*), il permet également une meilleure aération de la culture
- L'absence de taille sur les plants de tomate permet de protéger les fruits des attaques d'oiseaux et limite les transmissions de viroses;
- La taille et l'effeuillage permet de diminuer l'incidence de certaines maladies foliaires sur tomate. Ces opérations ont pour but d'enlever à la fois les vieilles feuilles à la base des plants ainsi que les ramifications secondaires (gourmands) indésirables en culture tuteurée. Le but est d'avoir une culture non touffue, bien aérée, où toutes les feuilles et fruits reçoivent le soleil afin de limiter le développement de certaines maladies fongiques (Alternariose, Cladosporiose) ou bactériennes. Par contre cette technique est à éviter si l'on ne peut pas désinfecter (par ex. à l'eau de Javel) les outils
- Entre chaque taille car il y a risque de transmission du TMV d'une plante à l'autre.

– Paillage (cf. annexe 2 page 73)

Limite la dissémination de maladies par des éclaboussures et évite le contact des fruits avec le sol.

Exemples :

- Le paillage permet de limiter les mauvaises herbes et les attaques de *Xanthomonas* en culture de chou et de *Phytophthora* en culture de tomate
- Le paillage (paille, copeaux de bois, ...) permet de protéger les semis des fortes pluies
- Un paillage sous les fruits de melon ou sous fraise permet d'éviter le contact avec le sol humide et le développement de maladies fongiques ou même d'insectes du sol.
- En culture de tomate, un paillage de couleur jaune a un effet répulsif sur *Bemisia tabaci*, vecteur du TYLCV.
- Par contre un paillage procure un refuge pour les chenilles ou chrysalides d'*Agrotis*, *Spodoptera* et *Helicoverpa* qui seront détruites moins facilement par leurs ennemis naturels.

– --> *Élimination et destruction d'organes ou de plants malades*

Les plantes attaquées par certains ennemis doivent être éliminées très précocement (dès observation des symptômes) sous peine de voir l'ennemi se propager très rapidement dans la culture, vers des champs voisins, ou contaminer le sol de la parcelle. Les plantes arrachées doivent être détruites (brûler, enterrer en dehors de la parcelle ou composter de manière correcte).

Pour d'autres ennemis l'arrachage se fera uniquement si les plants sont fortement atteints. A ce moment, la plante ne sera de toute façon plus très productive et constituera une source d'infestation pour le reste du champ ou des champs voisins. Certains organes peuvent être arrachés et éliminés.

Exemple :

- Il est important de ramasser et détruire (brûler ou enterrer profondément) les fruits attaqués par la cératite en culture de piment.
 - --> Arracher, ramasser et détruire les plantes arrivées en fin de récolte
- Il est conseillé d'arracher le plus tôt possible les plants arrivés en fin de récolte (brûler, enterrer en dehors de la parcelle ou composter de manière correcte). Les plants qui ne sont pas arrachés peuvent survivre longtemps et continuent à abriter des ennemis qui peuvent s'y multiplier et se propager sur les cultures voisines ou successives.



– *Buttage*

Exemples :

- Un bon buttage empêche la teigne de la pomme de terre de s'attaquer aux tubercules pendant la culture.
- Un buttage permet aux plants de tomate attaqués par les nématodes de former de nouvelles racines adventives saines.

– *Propreté ou désinfection des outils*

Les outils, comme les habits, les chaussures, les gants, sécateurs, couteaux,..., sont aussi des vecteurs d'ennemis tels *Meloidogyne*, TMV, *Fusarium*, *Pseudomonas*.

Exemples :

- Le nettoyage des outils agricoles après chaque usage permet de limiter la propagation de divers ravageurs (nématodes, bactéries, champignons, ...).
- Les outils utilisés pour la taille doivent être désinfectés à l'eau de javel après chaque coupe.

– *Déplacement des personnes dans le terrain*

Exemple :

- En culture de haricot vert atteint de grasse éviter de se déplacer dans un champ dont les plantes sont mouillées.
- En culture de tomate, cela évite la transmission mécanique ou physique de *Xanthomonas* par le contact avec les vêtements, les mains, les outils, ...

4.1.3.2. Moyens de lutte physiques, biotechniques et biologiques

- **Pièges avec attractifs** (phéromones, couleur, alimentaire, lumière); (cf. annexe 4 page 81)
- **Répulsifs** odeur (menthe), bruits (oiseaux), phéromones d'alerte (fourmis), couleur, etc...
- **Collecte manuelle des ravageurs**
Certains insectes de grande taille peuvent être récoltés et éliminés manuellement. Cette opération peut-être réalisée de façon constante par toute personne effectuant des travaux dans le champ régulièrement (par exemple lors des binages et désherbages). Elle peut également être effectuée en cas de besoin par une équipe mobilisée pour ce travail.
Les *Xanthodes* et les *Pachnodes*, facilement visibles, peuvent être éliminés manuellement en culture de gombo.
- **Filets et voiles tissés ou non-tissés**, (cf. annexe 2 page 69)
Leur utilisation au champ est possible pour lutter contre divers ravageurs (*Dacus* spp. sur melon, *Helicoverpa armigera* et *Liriomyza trifolii* sur tomate, chenilles défoliatrices sur chou pommé). Leurs coûts élevés ne permettent cependant pas une utilisation au champ pour le moment en Afrique.
- **Epouvantails et affolants** (cf. annexe 3 page 79)
- **Confusion sexuelle** (cf. annexe 4 page 81)
- **Lâcher d'auxiliaires** (cf. annexe 6 page 84)
Des lâchés d'auxiliaires commerciaux pourraient être testés en conditions tropicales contre *Tetranychus* spp. (acariens prédateurs : *Phytoseiulus persimilis*, *Amblyseius californicus*), *Liriomyza* (Parasitoïdes : *Dacnusa sibirica*, *Diglyphus isaea*), *Myzus persicae* (Hyménoptères parasitoïdes : *Aphidius colemani*, *Aphidius*

ervi ; Cécidomyie prédatrice : *Aphidoletes aphidimyza* ; Coccinelle : *Harmonia axyridis*).

4.1.4 Récolte et conservation

Les différents points à prendre en considération sont :

- **Stade de récolte**

Exemples :

- La pomme de terre doit être récoltée à maturité et ne doit pas être laissée en terrain sec pour éviter des attaques de *Rhizoctonia bataticola*.
- Les pommes de choux et les carottes doivent être récoltées à temps pour éviter l'éclatement ou les pourritures.

- **Isolement des stocks**

Exemple :

- Les pommes de terre saines ou traitées contre la teigne seront stockées dans des hangars conçus de façon à empêcher les réinfestations extérieures.

- --> **Ramassage et destruction des résidus de culture**

Il ne faut pas attendre la fin complète de la culture pour le faire. Cette opération de ramassage et destruction (évacuation du champ et destruction par le feu, par compostage à chaud, ou en les donnant comme nourriture aux animaux) des plants ne pouvant plus produire est à faire régulièrement pendant toute la durée de la culture.

- --> **Élimination des rejets**

Tous les rejets de pomme de terre doivent être arrachés pendant la période qui suit la récolte. Ceci afin d'éviter que des parasites ne s'y multiplient.

- **Triage**

Le triage des haricots verts destinés à l'exportation permet de limiter les risques de refus des marchandises à destination pour cause de présence d'organismes de quarantaine.

- **Destruction par le froid, le chaud (pasteurisation, thérapie) ou divers types de radiations.**

4.2. Lutte raisonnée (cf. annexe 10 page 129) utilisant des produits phytosanitaires conventionnels, biorationnels ou microbiologiques

Malgré l'utilisation optimale de toutes les méthodes de lutte citées précédemment il est souvent nécessaire d'avoir recours à la lutte utilisant des produits phytosanitaires.

Cette lutte sera toujours raisonnée de façon à :

- **Economiser les produits phytosanitaires en:**

- *obtenant des plants sains en pépinière*
- *n'effectuant pas de traitements qui peuvent aggraver la situation (cf. annexe 6 page 84)*

Par exemple en cas d'attaque de mineuse des feuilles (tomate, haricot, pomme de terre) il est souvent préférable de ne pas traiter si l'on ne dispose pas de produits phytosanitaires efficaces et respectant les auxiliaires (ex. abamectin). L'utilisation répétée de produits à large spectre peu efficaces et tuant tous les auxiliaires peut conduire à une aggravation spectaculaire des dégâts et à une perte de la culture.

- *utilisant les traitements sur seuils d'intervention plutôt que des traitements préventifs (cf. annexe 10 page 128)*



Exemples :

- Au Sénégal, des observations hebdomadaires simples sur la partie centrale de la plante permettent de déclencher les traitements contre les principaux insectes ravageurs du chou pommé si les seuils d'intervention sont atteints.
 - Au Burkina Faso en culture de tomate, il est conseillé de traiter contre *Helicoverpa armigera* quand on atteint le seuil de 2,9 % de fruits attaqués.
- *privilegiant les traitements localisés (semences, matériel adapté,...) (cf. annexe 5 page 83)*

Exemples :

- Les traitements contre des ravageurs se développant à la surface inférieure des feuilles (tétranyques, jassides,...), seront dirigés sur cette partie des feuilles par souci d'efficacité et d'économie.
 - Le glyphosate, herbicide total, peut être appliqué de façon localisée (même au cours d'une culture) à l'aide d'appareils adaptés.
 - Des appâts au trichlorphon permettent de lutter efficacement contre *Agrotis* spp.
 - Une application localisée de Mocap ou de Vydate autour des pieds, 4 jours après repiquage, permet de lutter efficacement contre *Meloidogyne* en culture de tomate.
- *utilisant les doses correctes, des pulvérisations correctes et du matériel adapté et en bon état de fonctionnement.*
- *évitant les traitements inutiles pour un stade avancé de la culture*

• **Assurer une pérennité de l'efficacité des produits en adoptant une stratégie anti-résistance par:**

- *l'utilisation des seuils d'intervention plutôt que les traitement préventifs*
- *l'utilisation des doses adaptées aux ravageurs ciblés*

Chaque pesticide peut avoir des recommandations de doses qui varient en fonction du ravageur ciblé. Par exemple le Talstar 100 EC (100 g/l de bifenthrine) sera utilisé de la manière suivante : pucerons et jassides (0,15 l/ha), chenilles (0,2 l/ha), tétranyques (0,4 l/ha).

- *une application correcte des pesticides contre le ou les ravageurs ciblés*
Les produits seront appliqués en quantité suffisante sur les parties des plantes où se trouvent les ravageurs. Par exemple, bien mouiller les faces inférieures des feuilles dans la lutte contre tétranyques, jassides, pucerons, etc...
- *l'alternance ou mélange de produits de classes différentes*

Pour les insecticides, les classes seront :

Classes	Exemples
Organo-phosphorés et Carbamates	diméthoate, malathion métalaxyl, oxamyl
Pyréthroïdes et Organo-chlorés	deltaméthrine, cyperméthrine endosulfan, lindane
IGRs	diflubenzuron, flufenoxuron
Autres chimiques	imidaclopride, pymetrozine
Produits naturels	Neem, tabac
Produits microbiologiques	Bacillus thuringiensis
Produits antibiotiques	abamectin

Pour les acaricides, les classes seront :

Classes	Exemples
Organo-stanniques	fenbutatinoxyde, azocyclotin
Ovolarvicides spécifiques	clofentezine, hexythiazox
Dérivés diphénylés	bromopropylate, dicofol
Pyréthriinoïdes	bifenthrine, fenpropathrine, fluvalinate
Tétradifon	tétradifon
Amitraz	amitraz
Propargite	propargite
Chinométhionate	chinométhionate
Pyridabène	pyridabène, fenazaquin, fenpyroximate, tébufenpyrad
Benzoximate	benzoximate
Organophosphorés	méthamidophos
Produits naturels	Tephrosia de Vogel
Produits antibiotiques	abamectin

En cas d'alternance, il ne faudra pas utiliser la même classe sur une durée supérieure à la durée d'une ou deux générations du ravageur ciblé. Par exemple dans le cas d'une lutte contre *Plutella xylostella*, il faudra changer de classe de pesticide toutes les 4 semaines (exemple : 1ère à 4ème semaine (OP ou Carbamates), 5ème semaine à 8ème semaine (IGRs), 9ème semaine à la récolte (*Bacillus thuringiensis*))

Le mélange idéal est l'association d'un produit chimique et d'un produit naturel. Par exemple contre *Plutella xylostella*, associer du *Bacillus thuringiensis* (produit microbiologique) à un produit chimique.

– pour les fongicides le mélange de produits à action unisites et multisites ou le mélange de produits à mode d'action différente (cf. annexe 8 page 98)

Exemples :

- thyophanate-méthyl (unisite) associé au manèbe (multisite) contre *Botrytis squamosa* sur oignon
- carbendazime associé à l'iprodione contre *Rhizoctonia solani* sur haricot vert

• Assurer la santé des utilisateurs (cf. annexe 9 page 116) en:

- utilisant les traitements sur seuils d'intervention plutôt que des traitements préventifs
- utilisant des formulations ou des conditionnements qui évitent ou diminuent les contacts avec les pesticides

Exemples :

- Conditionnement en sachets dose pour un pulvérisateur de 15 litres (Karaté).
- Formulations en micro-granulés (Vydate).

– utilisant des produits peu ou pas toxiques pour l'homme

Pour effectuer les traitements, il est très important, quand cela est possible, d'utiliser les produits les moins toxiques pour l'homme. Pour presque tous les ennemis il existe des produits peu ou moyennement toxiques mais ceux-ci ne sont pas toujours disponibles dans tous les pays. L'utilisation de plantes locales pour préparer des produits naturels peu toxiques est dans certains cas possible. Souvent leur efficacité n'est pas vraiment démontrée ou leur utilisation reste fastidieuse ou chère pour l'utilisateur.

Exemple :

- Pour faire un traitement contre les pucerons, on dispose d'endosulfan, de dichlorvos et de chlopyriphos-méthyl ; si l'unique critère de choix est la toxicité pour l'homme, le dernier sera préféré aux deux autres.



– *adoptant les mesures et le matériel de protection adaptés aux produits utilisés*

Exemple :

- L'utilisation de Vydate 10 G nécessite l'utilisation de gants, de bottes et d'un masque pour la manipulation ; pour l'application, porter en plus un vêtement de protection approprié, un appareil protecteur des yeux et du visage
- *stockant les produits dans des lieux sûrs, fermés à clés et à l'écart des enfants*

• **Assurer la santé des consommateurs (cf. annexes 7 et 8 ; annexe 8 page 96, annexe 9 page 116) en :**

- *utilisant les doses correctes*
- *utilisant des produits peu ou pas toxiques*

Les produits les moins toxiques possible seront utilisés en période de récolte.

– *respectant les délais d'utilisation avant récolte*

Pour les traitements à effectuer à l'approche ou pendant la période de récoltes il faut veiller à utiliser des produits à délai d'utilisation avant récolte suffisamment courts. Ceci est indispensable pour obtenir une récolte saine qui contiendra des résidus de pesticides non dommageables à la santé des consommateurs. Certains produits chimiques ou non-chimiques permettent de satisfaire ce point (deltaméthrine, *Bacillus thuringiensis*, ...).

Les délais d'utilisation avant récolte varient pour un même produit en fonction de l'espèce légumière. Pour l'endosulfan, les délais d'emploi avant récolte seront 15 jours sur chou et fraisier, 3 jours sur concombre, cornichon et melon.

– *sacrifiant une ou des récoltes si l'on doit, pour rétablir l'état phytosanitaire d'une culture, utiliser des produits ne respectant pas les délais*

Par exemple, si une culture de jaxatu est fortement attaquée par les acariens à l'approche du début des récoltes, il peut être intéressant de sacrifier les premières récoltes afin de pouvoir faire un traitement acaricide efficace et durable.

– *lavant les produits récoltés si conseillé et réalisable*

• **Permettre au mieux le développement des auxiliaires en utilisant des pesticides ou des techniques d'application qui ne les tuent pas ou peu (cf. annexes : 6 page 84, 8 page 96-98, 9 page 119, 10 page 128).**

Le maintien d'une population importante d'auxiliaires dans un champ est le meilleur moyen d'éviter des infestations dommageables à la culture. Le non respect des auxiliaires aboutit parfois à des situations catastrophiques. Par exemple l'utilisation de produits toxiques pour les auxiliaires aboutit souvent à une explosion des populations de mineuse des feuilles (*Liriomyza trifolii*). Les auxiliaires peuvent être favorisés par l'utilisation de :

– *produits sélectifs*

Exemples :

- Clofentezine, hexythiazox, acrinathrine sont des acaricides spécifiques qui respecteront les insectes utiles
- La cyromazine (Trigard) insecticide spécifique des mineuses des feuilles respecte les auxiliaires.

– *produits à faible rémanence*

Ils permettent un retour rapide des auxiliaires.

Exemples :

- Dichlorvos, hépténophos, mevinphos, trichlorfon sont des insecticides à rémanence très faible qui permettent un retour rapide des organismes utiles
- L'endosulfan, le méthidathion, l'acéphate, le méthomyl, le malathion ont une rémanence modérée
- Les pyréthriinoïdes très néfastes aux auxiliaires seront plutôt utilisés en période de récolte

– *Traitements localisés (semences, ...)*

Le traitement des semences ou des pieds des jeunes plants par des produits systémiques de persistance d'action longue (oxamyl, imidaclopride), permet d'épargner les auxiliaires en début de culture.

- **Permettre l'installation des auxiliaires dans les programmes (à l'échelle d'une région ou d'un pays) d'acclimatations d'auxiliaires et de lâchés inondatifs**

- **Protéger l'environnement en:**

- *utilisant le moins possible les traitements par le recours à des seuils d'intervention*
- *utilisant plutôt les traitements localisés*
- *traitant au bon moment et avec le matériel adéquat*
- *en jetant les bouillies non utilisées loin des points d'eau (rivière, puits, etc...)*
- *utilisant des produits présentant des caractéristiques permettant de le préserver (faible solubilité dans l'eau, faible volatilité, faible mobilité dans le sol, peu dangereux pour les systèmes aquatiques, peu dangereux pour les mammifères, peu dangereux pour les oiseaux, respect des abeilles, ...).*
- *en éliminant les produits périmés et les flacons vides dans des centres de recueil*

L'utilisation des produits phytosanitaires se fera sur les semences, en pépinière, lors de la préparation du sol, en cours de culture ou en post-récolte.

- **Utilisation de produits phytosanitaires sur les semences (cf. annexe 1 page 60)**

Les semences peuvent être traitées avec des produits phytosanitaires afin d'éviter une attaque des plantules et des jeunes plants par divers ravageurs.

Parfois les semences sont traitées par les sociétés commerciales de production de semences pour éviter les ennemis qui peuvent s'attaquer à la graine en cours de stockage ou qui attaquent la graine semée ou en cours de germination. Il s'agit souvent d'une association insecticide-fongicide. Les semences peuvent être éventuellement traitées juste avant le semis par l'utilisateur pour protéger les graines avant et pendant la germination. Ce traitement vise parfois à protéger les jeunes plants par l'utilisation de produits systémiques (par exemple contre les pucerons ou les mouches blanches on peut traiter les semences avec du Gaucho (imidaclopride).

Exemples :

- le traitement des semences au Gaucho (imidaclopride) protège la plantule contre les insectes du sol mais aussi contre mineuses, pucerons, mouches blanches pendant plusieurs semaines après levée
- l'association de thirame et de métalaxyl sur les semences permet de lutter contre des maladies présentes à la surface de la graine ou dans le sol

- **Utilisation des produits phytosanitaires en pépinière**

Les mesures citées de la page 30 à la page 33 ne suffisent pas toujours à obtenir des plants suffisamment sains et vigoureux, nécessaires au bon démarrage et développement des cultures. D'autre part, et souvent, le maraîcher n'arrive pas pour diverses raisons (techniques, économiques ou autres) à appliquer ces mesures. L'utilisation de produits phytosanitaires est alors nécessaire en pépinière. Des exemples de recommandation de produits figurent dans les tableaux IV 5 (page 51) et IV 6 (page 52).

– *Traitements du sol des pépinières avec des produits phytosanitaires*

Des produits phytosanitaires (naturels, microbiologiques, chimiques, etc...) permettent de détruire certains ennemis présents dans le sol. D'autres produits, chimiques systémiques (pénétration dans la plante), appliqués au sol permettent de contrôler certains insectes aériens ou les nématodes dans les racines.



En cas de risque réel, les traitements appliqués au sol seront toujours préventifs car quand on constate les symptômes il est souvent trop tard pour contrôler les ravageurs présents dans le sol.

Parmi les produits commerciaux, potentiellement utilisables en milieu tropical, les moins toxiques pour l'homme et l'environnement, on peut citer :

- les produits à base du champignon *Trichoderma harzianum* ou des métabolites de celui-ci. Ces produits sont efficaces contre *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* et *Fusarium* ;
- un produit à base de tagetes et d'essences de sauge et de citronnelle (NEMAT 50) contre les nématodes.

Parmi les plantes pouvant donner des produits phytosanitaires utilisables en traitement du sol on peut citer : *Moringa oleifera* (contre *Pythium*), *Azadirachta indica* (contre nématodes).

– Traitements des organes aériens avec des produits phytosanitaires en pépinière

Des produits phytosanitaires (naturels, microbiologiques, chimiques, etc...) permettent de détruire certains ennemis présents sur les parties aériennes des plantes. Pour certains ravageurs les traitements peuvent être curatifs, mais pour d'autres, plus dangereux ou moins bien visibles, les traitements doivent être obligatoirement préventifs en cas de risques importants.

Parmi les produits commerciaux potentiellement utilisables en milieu tropical et les moins toxiques pour l'homme et l'environnement, on peut citer :

- les produits à base de *Bacillus thuringiensis* (contre les chenilles de lépidoptères) ;
- les produits à base de virus de la Polyédrose nucléaire (contre *Helicoverpa armigera* ou *Spodoptera littoralis*) ;
- un produit à base de métabolite du champignon *Trichoderma harzianum*. Ce produit (PRESTAFONG) est efficace contre *Phytophthora infestans* ;
- les produits à base d'essences de plantes contre les chenilles (ANTICHEN), mouches blanches (ALIB) et pucerons (PUCAL);
- les produits à base de neem (contre chenilles, pucerons, mouches blanches).

Parmi les plantes pouvant donner des produits phytosanitaires utilisables en traitement foliaire on peut citer :

- le neem (contre chenilles, pucerons, mouches blanches, criquets) ;
- le *Tephrosia vogelii* (contre *Tetranychus*) ;
- l'ail (contre pucerons et chenilles) ;
- le piment (contre pucerons et chenilles).

• Utilisation des produits phytosanitaires au champ

– Stades de l'intervention

Des traitements peuvent être effectués par **application au niveau du sol avant la mise en place de la culture**. Pour lutter contre des ennemis tel que les champignons se trouvant dans le sol et se développant sur racines ou collet, insectes s'attaquant aux jeunes plants (application de produits systémiques), nématodes (produits de contact, systémiques ou agissant par vapeur).

Ces traitements ne sont généralement effectués que lorsque l'on est certain d'avoir une pression parasitaire très importante malgré l'adoption des autres méthodes de lutte.

Les **stades de la plante** au cours duquel il peut être utile d'effectuer des applications de produits phytosanitaires dépendent de l'ennemi visé.

La décision d'effectuer les traitements à ces stades dépendra des risques d'infestations à la période de l'apparition de ces stades, des infestations observées au champ, des produits disponibles.

– *Types d'intervention*

L'idéal serait de pouvoir faire des traitements sur seuils d'intervention. Malheureusement très peu d'indications pratiques existent.

A défaut de seuils d'intervention, pour certains ennemis, on peut débiter les traitements dès l'apparition des premiers symptômes ou des ravageurs. Les traitements sont ensuite maintenus sur les stades de la plante où les traitements sont considérés comme utiles. Si les symptômes ou ravageurs disparaissent les traitements peuvent être arrêtés.

Cependant pour certains ravageurs (*Meloidogyne, Fusarium, Pythium, Rhizoctonia, Sclerotium, ...*) il est nécessaire de passer par des traitements préventifs si l'on est certain d'être dans une situation à risque. En effet ces ravageurs sont difficiles à contrôler une fois qu'ils sont installés dans la plante.

Pour d'autres ennemis, il existe des produits curatifs qui peuvent être utilisés sur des populations d'ennemis déjà bien établis.

– *Localisation du traitement*

Pour certains ennemis, les traitements appliqués sur les plantes doivent être orientés préférentiellement sur certains organes ou certaines parties d'organes de la plante.

Pour la tomate

Par exemple la face inférieure des feuilles sera bien mouillée pour lutter contre *Aculops, Tetranychus, Bemisia, Myzus* que l'on trouve surtout sur cette partie de la feuille.

Pour certains ennemis, il existe des produits qui peuvent être appliqués ailleurs que sur la plante. Par exemple dans des appâts (*Agrotis*), en application localisée dans le sol (*Meloidogyne*, maladies du collet,...), par l'irrigation goutte à goutte (pucerons, maladies du collet, *Meloidogyne*, mineuse des feuilles, mouches blanches), etc...



TABLEAU IV.5. PRODUITS PHYTOSANITAIRES RECOMMANDÉS POUR LUTTER CONTRE LES NEMATODES

Matière active et ordre de préférence	Produit commercial et concentration	Moment application			Mode d'application			Dose*	Remarques
		Au niveau de la semence	A la préparation du sol	Après levée sur les jeunes plants	Epandage à sec	A l'arrosoir	En pulvérisation		
cadusaphos - 6	Rugby 10 G - 10 %						3 à 5 g/m ²	A réaliser 1 à 2 semaines avant semis - Incorporer à une profondeur de 20 à 30 cm - Arroser régulièrement après le traitement - Actif également sur vers gris et d'autres insectes.	
carbofuran - 9	Furadan 5 G - 5 %						5 à 8 g m ²	Incorporer dans les 10 à 20 premiers cm du sol - Egalement insecticide du sol et efficace sur iules	
dazomet - 2	P.C. à 95-98 %						50 à 70 g/m ²	A réaliser 4 à 6 semaines avant le semis en pépinière en sol. Opérer sur sol frais - 1. niveler le sol - 2. arroser - 3. épandre le produit avec des gants et des bottes - 4.incorporer immédiatement à la houe ou par fraissage sur 20 cm de profondeur - 5. niveller - 6. plomber et pailler ou poser une bâche plastique - 7. arroser légèrement (2 l/m ²) pendant 7 jours si la bâche n'est pas utilisée - 8. aérer la terre quelques jours avant le semis. Egalement doté d'action fongicide, herbicide, insecticide	
métam-sodium - 3	P.C. à 510 g/l						100 à 150 ml/10 l/m ²	A réaliser 4 à 6 semaines avant le semis - Prétriquer avant le traitement et ratisser - Faire suivre l'application d'un arrosage (10 l/m ²) pour faire migrer en profondeur. Faire suivre d'un roulage puis d'un arrosage (2 l/m ²).	
éthoprophos - 7	Mocap 10 G - 10 %						10 g/m ²	Arroser régulièrement pendant 3 à 4 jours ou de préférence recouvrir d'une bâche pendant une dizaine de jour. Remuer le sol une fois par semaine et quelques jours avant le semis. Egalement doté de propriétés insecticide, fongicide et herbicide.	
isazophos - 5	Miral 10 G - 10 %						1,5 à 3 g/m ²	Faire suivre l'application d'une incorporation immédiate entre 7 et 15 cm. Actif également sur <i>Pythium</i> , <i>Phytophthora</i> et <i>Rhizoctonia solani</i> et sur certains insectes et les iules. Incorporer dans les 10 à 20 premier cm du sol	
huiles essentielles - 1	Nemat 50						3 à 5 gouttes/l	Appliquer le matin - Efficacité à confirmer	
oxamyl - 4	Vydate 10 G - 10%						2,5 à 5 g/m ²	A réaliser 3 à 4 jours avant semis - Incorporer à 10-15 cm de profondeur - Arroser après application - Efficace également sur insectes du sol	
oxamyl - 8	Vydate L - 240 g/l						1, 5 ml/5 l/m ²	Utiliser un arrosoir en plastique - 3 à 7 jours après levée - Actif également sur mineuse des feuilles, pucerons, mouches blanches	

* pour les pulvérisations: doses pour pulvérisateur consommant 1000 litres de bouillie par ha en pleine végétation

TABLEAU IV.6. PRODUITS PHYTOSANITAIRES RECOMMANDÉS POUR LUTTER CONTRE LES ENNEMIS EN PÉPINIÈRE

TOMATE									
Matière active	Produit commercial	Concentration du produit	Ennemi ciblé et ordre de préférence	Moment conseillé d'application	Mode d'application	Dose pour une application par pulvérisation foliaire***	Remarques		
I abamectin	Vertimec	18 g/l	X3		Enrobage	0,5 ml/l			
N acéphate	Orthène 50	500 g/ka	X3	X2		1,5 g/l			
S benzoïmate	Artaban	200 g/l	X2	X2		2 ml/l			
E chlorométhinate	Moresban	250 g/ka	X1	X1		0,3 g/l			
T chloroprifos-éthyl	Dursban 4	480 g/l	X7			1,5 à 2 ml			
C chloroprifos-méthyl	Reidan	500 g/l	X4			0,8 à 1,2 ml/l			
I cyhexatin	P.C. divers	600 g/l	X3			0,5 ml/l			
I cyperméthrine*	P.C. divers	50 g/l	X5			1 ml/l			
D cyromazine	Trigard	750 g/l	X2			0,4 g/l			
E diazinon	P.C. divers	240 g/l	X5	X7		1,6 g/l			
S dicofol	P.C. divers	480 g/l	X5			1 ml/l			
	Matecracide	212,5 + 80 g/l	X4	X4		2 ml/l			
	P.C. divers	400 g/l	X4	X5		0,75 ml/l			
A endo sulfan	P.C. divers	350 g/l	X7			1,75 ml/l			
C fenitrothion	P.C. divers	500 g/l	X7	X6		2 ml/l			
R huiles essentielles	Alib		X1			1 ml/l	Appliquer tôt le matin - Efficacité à confirmer		
I huiles essentielles	Pucal		X1			2 à 4 gouttes/l	Appliquer tôt le matin - Efficacité à confirmer		
C huiles essentielles	Protom		X1			2 à 4 gouttes/l	Appliquer tôt le matin - Efficacité à confirmer		
I imidaclopride	Confidor	200 g/l	X2			0,5 ml/l			
D imidaclopride	Gaucha	700 g/ka	X2			5 à 6 g/ka			
E malathion	P.C. divers	500 g/l	X1	X6		1,5 ml/l			
S neem (poudre d'amande)			X1	X1		2,5 à 50 g/l	Dose à établir localement (l'efficacité diffère d'une région à l'autre)		
F chlorothalonil	P.C. divers	500 g/l		X3		3 ml/l			
O cuivre (hydroxyde, oxychlorure, sulfate de Cu)	P.C. divers	500 g/l		X1		2,5 g/l	En pépinière on utilise la moitié de la dose de plein champ.		
G Cu (sulfate) + mancozèbe	P.C. divers	100 + 300 g/l		X2		5 à 6 g/l	Associer mancozèbe à la bouillie bordelaise 8 heures avant utilisation		
I dichlorfluandé	Euparène	500 g/ka	X3	X3		1 g/l			
C eau javellisée		45 B		X1		0,25/10 l d'eau	24 h avant un traitement au cuivre		
I iprodione	Rovral	500 g/ka	X3			1,5 g/l			
D mancozèbe	P.C. divers	800 g/ka	X3	X3		2 g/l			
E manèbe	P.C. divers	800 g/ka	X3	X3		2,5 g/l			
S manèbe + thiophanate-méthyl	P.C. divers	300 + 150 g/ka	X1	X2		5 ml/l			
E métalaxyl + mancozèbe	Ridomil MZ 72	80 + 640 g/ka	X2	X1		2,5 g/l			
S propamocarbe HCl	Prévicur N	722 g/l		X1		3 ml/l			
	Tricho derma harzianum			X1			Efficacité à confirmer		



Commentaires au tableau IV.6.

Pour chaque ravageur à combattre nous avons classé les matières actives conseillées par ordre de préférence.

Le classement tient compte de considérations telles que: la toxicité pour l'homme, les dangers pour l'environnement, le danger pour les auxiliaires et le niveau d'efficacité comparée. Cela signifie que lorsqu'il souhaite contrôler un ravageur, l'utilisateur choisira de préférence une des matières actives classée en 1 dans la colonne du ravageur en question. S'il n'arrive pas à l'obtenir ou s'il la trouve trop onéreuse, il choisira une des matières actives classées en 2, et ainsi de suite.

D'autres matières actives, ne figurant pas dans les tableaux, pourraient être utilisables. Certaines n'y figurent pas pour les raisons suivantes:

- matières actives considérées comme extrêmement ou très dangereuses pour l'homme (classes 1a et 1b de « The World Health Organization recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 1996-1997 »). Les matières actives de ces classes sont cependant citées dans la lutte contre les nématodes vu l'importance de ce ravageur et le choix limité de produits moins dangereux ;
- « nouvelles » matières actives chères et ayant peu de chance d'être disponibles dans les pays du RADHORT (ces matières actives sont cependant citées dans la lutte contre les acariens, la mouche mineuse, ... où la diversité en produits génériques efficaces est très faible, plus particulièrement dans les pays du RADHORT) ;
- « nouvelles » matières actives ou produits naturels qui représentent une avancée considérable en matière d'efficacité, d'innocuité pour la santé de l'utilisateur ou de protection de l'environnement mais dont le spectre et le niveau d'efficacité en milieu tropical doivent être confirmées ou les doses spécifiées plus précisément.

Il est vivement conseillé de réaliser des pépinières sous voile, ce qui évite beaucoup de traitements insecticides. Les traitements pouvant être évités par cette technique sont clairement indiqués dans les tableaux. Cependant l'usage du voile pourra poser des problèmes en climat chaud et humide. Dans ces conditions, les maladies fongiques peuvent se développer très rapidement sous le voile, si des fongicides ne sont pas appliqués.

De même l'utilisation de substrat sain (pépinière sur substrat) ou de sol sain (pépinière en sol) permet d'éviter le développement de maladies (fonte de semis, nématodes, ...) en pépinière et de repiquer ainsi des plants sains sans utilisation de produits phytosanitaires.

PERIODES CONSEILLEES POUR LES TRAITEMENTS ET LEGENDE DES TABLEAUX PAR CULTURE

PERIODES CONSEILLEES POUR LES TRAITEMENTS EN PEPINIERE DE TOMATE

Ennemi ciblé	Moment application en nombre de j. après levée			
	0	7	14	21 (ou 3 jours avant repiquage)
Acariose bronzée				
Mouche blanche			0	
Mineuse des feuilles			0	
Pucerons			0	
Alternariose				
Mildiou				
Gale bactérienne				

LEGENDE

X1,2,3,... : ordre de préférence pour le choix des produits


* ou d'autres pyrèthrinoides


** voir fiche générale fonte de semis, maladies du collet et des racines pour les dégâts autres que foliaires


*** dose pour pulvérisateurs consommant 1000 litres de bouillie par hectare (adapter la dose si utilisation de pulvérisateur à consommation différente)

P.C. = produits commerciaux

 traitement conseillé même dans le cas d'utilisation de voile car celui-ci doit être retiré environ 3 jours avant le repiquage

 traitement à effectuer même en cas d'utilisation de voile car celui-ci n'arrête pas cet ennemi

 traitement inutile si utilisation de voile de protection (ATTENTION, contrôler régulièrement l'état phytosanitaire des plants sous le voile et traiter si nécessaire)

 traitement pas nécessaire si certains produits (assurant une protection prolongée) sont utilisés au traitement précédent

V. Conclusions

Après une période de protection intégrale par des moyens chimiques, on revient progressivement à d'autres concepts de protection des végétaux. On a cru, dans un passé pas très lointain, que des produits chimiques pourraient être développés pour contrer n'importe quelle maladie ou n'importe quel ravageur. On a cru aussi que cette protection serait durable quitte à passer, au gré des résistances, d'un pesticide un peu périmé vers un autre plus efficace. Et une course contre la montre a débuté, course que l'homme peut difficilement gagner s'il ne révisé pas fondamentalement ces méthodes.

Dans les mêmes moments, des prises de conscience se sont réalisées. Est-il bien nécessaire d'avoir une «couverture chimique» tout au long de la période de culture ? Ne serait-il pas possible de mieux cibler les traitements tant dans le temps que dans l'espace ? Pourquoi utiliser des produits qui détruisent bien sûr les ravageurs indésirables mais aussi quantités d'organismes neutres voire utiles à la protection des plantes ? Ne faudrait-il pas réaliser les traitements chimiques qu'aux seuls moments où ceux-ci sont réellement nécessaires ? N'existe-t-il pas d'autres moyens de protection qui permettraient de limiter quelques peu les applications des pesticides et leurs effets secondaires indésirables ?

Et c'est ainsi que du concept très limité de lutte chimique aveugle on est passé progressivement à des concepts plus étendus : lutte chimique raisonnée, lutte intégrée, production et protection intégrées des cultures.

Un des points frappants de cette évolution est que l'on se dirige de plus en plus vers des moyens de lutte plus sélectifs, moins perturbateurs de l'environnement et cela quel que soit le mode de lutte envisagé. Avec comme paradoxe, que parfois il peut être difficile de classer certaines des méthodes les plus raffinées dans un des grands groupes classiques. Ainsi, une plante sélectionnée par des méthodes classiques ou d'ingénierie génétique et capable de produire une toxine naturelle la protégeant de ses ravageurs, est-ce une méthode de lutte phytotechnique (sélection de la variété appropriée) ? Ou est-ce de la lutte biologique (exploitation d'une toxine naturelle) ? Ou cela n'est-il pas plutôt une forme de lutte chimique biorationnelle ?

Un autre point commun à toutes ces nouvelles méthodes de lutte est qu'elles nécessitent une connaissance approfondie du milieu auquel on s'intéresse. L'horticulture moderne pourrait bien n'avoir bientôt plus rien en commun avec une production industrielle dans laquelle les différentes opérations culturales sont réalisées les unes après les autres en suivant un calendrier pré-établi. Au contraire, l'horticulture va demander de plus en plus une approche globale où entrent en ligne de compte l'ensemble des facteurs de production et de protection. L'intégration de ces facteurs ne se fera pas seulement d'une façon séquentielle mais devra plutôt prendre en considération les innombrables relations existant entre tous ces facteurs. Cette approche dynamique ne demandera pas nécessairement plus de technicité (bien que ce sera souvent le cas) mais impliquera surtout une connaissance vécue du métier sous ces différents aspects.

On entend parfois dire qu'une seconde révolution verte se profile à l'horizon des années 2000. Celle-ci ne reposerait plus sur la base triangulaire classique qui a fait les choux gras de la première révolution verte, à savoir : «variétés productives -



fertilisation intensive - protection chimique». Cette nouvelle révolution s'appuierait plutôt sur les progrès de la biotechnologie comme le développement de nouvelles variétés.

En prenant un peu de recul, on déduira rapidement que cette révolution n'en sera pas une si elle est appliquée telle quelle, c'est à dire d'une façon exclusive négligeant les autres moyens de productions et de protection des végétaux. Il faut savoir, en effet, que si l'on se limite à quelques variétés à l'échelle mondiale, on retrouvera très rapidement des problèmes similaires à ceux rencontrés avec d'autres moyens de lutte utilisés de façon inconsidérée. Que l'on réfléchisse, par exemple, à ce qui risque de se passer si la toxine de *Bacillus thuringiensis* se trouve exprimée dans la plupart des plantes cultivées. La pression de sélection sera telle que des résistances verront inévitablement le jour, comme elles ont déjà vu le jour lorsque l'insecticide microbien est utilisé de façon trop intensive.

Que dire, en outre, du patrimoine génétique immense qui existe de par le monde et qui pourrait régresser voire disparaître au profit de quelques variétés, produits de l'ingénierie génétique de quelques sociétés multinationales ? Il ne faut donc pas croire au miracle ni croire que ce miracle en est un.

La révolution que nous devons espérer dans le domaine des productions légumières devra donc se réaliser en douceur et progressivement. Conscients que des excès d'ordres divers constituent toujours une menace, il faut corriger le cap. Ceci est possible en évitant l'utilisation abusive des pesticides, d'une part, et en adoptant, d'autre part, le concept plus large de la production et protection intégrée. Non seulement il sera possible de développer ainsi des systèmes durables de productions de légumes de qualité, mais on aura toute raison de penser que ces systèmes seront mieux adaptés aux conditions socio-économiques locales tout en étant plus respectueux de l'environnement.

VI. Recommandations

Le concept de production et protection intégrées requiert, par définition, la mise en application de toutes les techniques liées à la production et à la protection des cultures fussent-elles agronomiques, phytotechniques, biologiques ou chimiques. De ce fait, aucune mesure ne peut être prise isolément mais doit nécessairement être raisonnée en tenant compte du contexte global et de toutes les répercussions secondaires qui peuvent en résulter. En outre, il faut bien être conscient que chaque mesure isolée qui sera prise, aussi efficace qu'elle puisse l'être, sera un jour ou l'autre vouée à l'échec si elle n'est pas soutenue par un ensemble cohérent d'actions visant à en augmenter l'efficacité ou prolonger les répercussions favorables. L'objectif principal sera toujours de maintenir la culture dans un état sanitaire optimal en veillant, dès la mise en place de la culture, à respecter toutes les règles fondamentales liées au choix du matériel végétal, aux techniques de pépinières, aux pratiques culturales et aux moyens de protection phytosanitaires de la culture.

Pour le choix du matériel végétal, il sera tenu compte, non seulement des caractères de résistance ou de tolérance aux principales maladies et ravageurs, mais il sera indispensable de prendre également en compte les possibilités d'adaptation de ce matériel aux conditions locales (préférence à accorder aux variétés rustiques, de cycle court et adaptées à la chaleur, ... préférence également aux produits qui seront appréciés sur le marché local !). En outre, il est bon de se remémorer que la résistance variétale n'est pas une arme absolue et que, lorsque la pression parasitaire est trop forte, des ruptures de résistance sont à craindre. Enfin, mettant en application une règle élémentaire de sécurité, on évitera de réduire trop fort le choix variétal pour éviter des accidents graves en cas d'apparition de nouveaux problèmes phytosanitaires: plus le nombre de variétés cultivées est grand, plus on aura des chances de limiter les effets désastreux d'un nouveau ravageur ! De tout ceci il ressort qu'il est fondamental que les recherches et le développement de nouvelles variétés se réalisent activement dans les divers pays concernés car c'est la seule façon de maintenir intact le patrimoine génétique local (bonne adaptation, diversité) en tirant parti des acquis récents de la génétique moderne (nouveaux gènes de résistance, production améliorée, etc...).

Un des inconvénients majeurs consécutifs à l'introduction des moyens de protection modernes (comme la résistance variétale et la lutte chimique) est que leur efficacité immédiate est telle que l'on en arrive vite à négliger les pratiques traditionnelles de base qui permettent d'obtenir une bonne production tout en créant des conditions favorables au maintien d'un bon état phytosanitaire de la culture. Or il s'avère de plus en plus que, pour obtenir une protection intensive et durable, ces techniques doivent être réhabilitées et faire partie intégrante de l'ensemble des techniques de production végétale et des mesures de protection phytosanitaire. Trop souvent, en effet, on constate que les mesures d'hygiène élémentaire ne sont pas d'application, que les parcelles ne sont pas assez bien entretenues, que les plantes malades et les déchets de cultures ne sont pas éliminés, que le terrain n'est pas nettoyé convenablement en fin de cycle, etc ...

D'autres mesures tout aussi efficaces ne sont pas toujours adoptables pour des raisons économiques. Ainsi, s'il est connu qu'une longue rotation, des apports massifs de fumier, le respect d'une jachère sont autant de pratiques très bénéfiques



pour diminuer la pression parasitaire de nombreux ravageurs, il est faut bien admettre que celles-ci ne sont pas toujours mises en application pour des raisons liées à la taille des exploitations, leur situation géographique (ceintures urbaines) et les contraintes du marché. Néanmoins, ces techniques doivent être préconisées partout où elles peuvent être acceptables pour les horticulteurs.

S'il est un stade de la culture qui est particulièrement critique pour assurer une bonne production et un bon état phytosanitaire de la culture, c'est bien celui de la pépinière. Ainsi, on recommandera tout particulièrement de privilégier cette étape tout à fait décisive pour la réussite de la culture. L'introduction des techniques de pépinière hors sol (semis en mottes de substrat organique ou en containers) est tout à fait appropriée à l'obtention d'un matériel végétal de départ sain et vigoureux, garantie de succès pour la suite de la culture. En outre, ces techniques ont de nombreuses répercussions favorables : précocité, raccourcissement du cycle et donc diminution de l'incidence (ou même de l'occurrence) de certaines maladies ou d'attaques par les ravageurs. Enfin, ces techniques de pépinière sont compatibles avec d'autres mesures tout à fait appropriées pour garder un état phytosanitaire satisfaisant : choix de semences de qualité désinfectées ou traitées avec des produits chimiques (éventuellement à haute valeur commerciale), mesures de protection physiques (écrans, ombrières,...) mais aussi chimiques et biologiques (en traitant la motte de semis, par exemple).

Si l'introduction de techniques de cultures abritées telles qu'elles sont appliquées sur le pourtour Méditerranéen ne semble pas être applicable pour l'instant dans la zone Soudano-sahélienne en raison des investissements importants qui sont requis, d'autres techniques de protection plus rudimentaires mais combien efficaces peuvent néanmoins être préconisées. Il s'agit surtout des écrans de protection contre les insectes (filets tissés ou voiles synthétiques non tissés) qui peuvent être utilisés de quantités de façons différentes allant du simple tapis de sol pour la protection des pépinières à de véritables petits tunnels abritant des cultures particulièrement exposées aux dégâts d'insectes.

En matière de lutte chimique et biologique, il semble que l'on a dépassé le stade où ces deux techniques étaient considérées comme incompatibles. Tout au contraire, on prônera au maximum l'intégration des ces méthodes de lutte qui, grâce aux moyens dont on dispose actuellement, deviennent tout à fait complémentaires et peuvent même être utilisées en synergie. Ainsi, le rôle des pièges à phéromones n'est pas tant de piéger massivement les ravageurs et limiter ainsi leur dégâts, mais plutôt de servir à déclencher un traitement chimique lorsqu'un certain seuil d'infestation est atteint. De même les nouveaux produits apparaissant sur le marché sont de plus en plus sélectifs, ce qui permet de préserver les auxiliaires voire d'effectuer des traitements en complément avec des interventions biologiques (lâchers inondatifs de prédateurs ou de parasitoïdes).

Si l'utilisation d'agents biologiques *sensu stricto* est encore très limitée et hasardeuse à l'heure actuelle (cas des parasitoïdes introduits pour lutter contre les teignes des crucifères au Cap-Vert et contre la mineuse de la tomate au Sénégal), il n'en demeure pas moins que les efforts doivent être poursuivis pour assurer l'acclimatation de ces auxiliaires, compléter leur action par l'introduction de nouveaux agents, proposer des méthodes de lutte chimiques «douces» qui permettent de sauvegarder les acquis et identifier de nouveaux cas susceptibles de bénéficier d'une forme de lutte biologique (lutte contre les tétranyques avec des acariens prédateurs, lutte contre les mouches blanches à l'aide de parasitoïdes,...)

A l'heure actuelle, on peut toutefois recommander des nouvelles préparations à base de *Bacillus thuringiensis* pour lutter contre quelques uns des ravageurs les plus importants en culture de tomate (*Helicoverpa armigera*, notamment), de chou (*Plutella xylostella*) et de pomme de terre (*Phthorimaea operculella*). Des

préparations à base de virus commencent à faire leur apparition également, mais leur succès est plus mitigé (coût élevé pour une efficacité plus aléatoire). Il y a lieu toutefois d'insister sur l'absence de toxicité de ces biopesticides tant pour l'homme que pour l'environnement et les insectes utiles.

On peut aussi proposer d'autres moyens de lutte beaucoup plus à la portée des petits horticulteurs dont les moyens financiers sont souvent limités. C'est le cas des préparations végétales utilisables comme insecticide et on recommandera en tout premier lieu celles réalisées à base du neem, arbre commun en région sahélienne. Si le principe actif, l'azadirachtine, en est bien connu et, d'ailleurs, commercialisé en d'autres points du monde, on n'est pas aussi sûr de l'efficacité réelle des préparations obtenues de façon artisanale dont on ignore la teneur exacte en principes actifs. Une autre contrainte importante est la préparation de ces insecticides botaniques qui peut être très laborieuse d'autant plus que les quantités nécessitées sont assez importantes. Une alternative serait la fabrication par une entreprise spécialisée qui commercialiserait un produit de qualité contrôlée. Toute initiative allant dans ce sens devrait être fermement encouragée vu l'impact économique favorable que l'on peut y trouver: valorisation de produits locaux, création d'emplois, augmentation de la qualité des productions légumières.

Il va de soi, cependant, que la lutte chimique, bien que toujours indispensable, devra être maintenue et adaptée aux nouvelles exigences en matière de protection de l'environnement et de compatibilité avec la lutte biologique. Pour ce faire des actions devront être entreprises pour enrayer les utilisations abusives de pesticides ou l'emploi de produits non appropriés que ce soit pour des raisons toxicologiques, écologiques ou, encore, parce qu'ils sont incompatibles avec les agents de lutte biologiques introduits ou spontanément présents dans le milieu naturel. Pour ce faire, il y aura lieu de tout mettre en oeuvre pour que des pesticides non appropriés ne soient pas introduits dans le circuit commercial de façon officielle mais aussi de façon frauduleuse: détournement de stocks de produits périmés destinés originellement à la lutte anti-acridienne, par exemple.

Il est également impératif que, des mouvements convergents s'opèrent aussi dans les pays moins développés à défaut de quoi ceux-ci risquent soit d'être des îlots de particularisme peu accessibles aux sociétés commercialisant les pesticides, soit au contraire des territoires incontrôlés où les pires excès seraient permis. Cette harmonisation devient d'autant plus impérieuse que l'on s'oriente vers de petits marchés très disséminés pour les nouveaux pesticides, surtout dans le domaine de l'horticulture. Une homologation se crée dans ce sens pour les pays du CILSS. Ces nouveaux produits sont, en effet, devenus très sélectifs (et à usage fort réduit) par rapport aux produits des générations précédentes, ce qui nécessite de couvrir un région géographique suffisamment importante.

De très importants progrès dans l'utilisation des pesticides pourraient déjà être entrepris en veillant à utiliser de façon plus rationnelle les produits existants. Bien souvent, cependant, il y a des lacunes au niveau de l'information: on ne sait pas distinguer les produits dangereux de ceux qu'ils ne le sont pas et on ne connaît pas assez les risques qu'ils présentent pour l'environnement. En outre, il manque des informations sur toutes les utilisations potentielles des produits que l'on peut trouver sur le marché et sur les inconvénients qu'ils présentent que ce soit au niveau de leur toxicité, de leur rémanence, de leurs effets sur les auxiliaires et des risques de résistance qui sont liés à leur utilisation intensive. Il existe des banques de données sur les pesticides reprenant toutes ces informations en détail. L'accès à de tels banques devrait permettre de ré-actualiser dans les différents pays les listes de produits recommandables pour les cultures légumières en tenant compte de leur disponibilité et des circuits de commercialisation effectifs.



Enfin, on insistera sur la nécessité de raisonner toute les interventions dans un cadre plus large que celui de la parcelle de cultures légumières et dans une optique plus longue que la saison s'étendant jusqu'à la récolte. De nombreux ravageurs des cultures légumières sont également nuisibles à d'autres plantes cultivées. C'est par exemple le cas des jassides et de certaines punaises qui s'attaquent aussi bien au gombo qu'au coton. Tant les cultures de légumes que celle du coton font l'objet de vastes campagnes afin de développer des méthodes de lutte intégrée mais ce n'est généralement pas le cas pour les deux cultures simultanément. Il s'ensuit que la mise en place d'une stratégie anti-résistance visant ces ravageurs du coton peut être compromise si dans la culture de gombo adjacente les mêmes règles ne sont pas appliquées. De même, il va de soi que l'introduction, en culture de tomate, d'un parasitoïde spécifique à la mouche blanche n'a aucune chance de succès si dans les champs de tabac adjacents on traite ce vecteur de viroses avec des insecticides à large spectre d'action.

Annexe 1 – Les mesures phytotechniques - Le matériel végétal

Le matériel végétal peut être choisi et manipulé afin que certains problèmes phytosanitaires majeurs soient diminués, parfois même évités, ou tout au moins contournés. La première approche, qui peut sembler être le plus radicale, est d'agir au niveau du génotype des plantes de façon à lui conférer les caractères de résistance ou de tolérance à l'égard des déprédateurs et maladies. Mais le matériel végétal peut également être amélioré de différentes autres façons qui souvent apporteront une complémentarité intéressante, voire indispensable, à la sélection variétale ou à la manipulation génétique. Il faut éviter, en effet, de trop réduire le patrimoine génétique très diversifié qui se trouve à notre disposition en ne privilégiant que les quelques variétés qui pourront satisfaire aux impératifs économiques du moment. Le matériel végétal sera donc examiné non seulement sur le plan de la résistance variétale mais aussi sur base d'autres propriétés et possibilités d'amélioration qui contribueront au maintien de cette diversité génétique. Par exemple, au Tchad et en Côte d'Ivoire, les maraîchers utilisent des «variétés» locales de tomate côtelées pour leur tolérance aux températures élevées.

a) Les variétés résistantes aux maladies et nématodes

En culture intensive, le choix d'une variété résistante aux principales maladies qui entravent sa culture constitue une des priorités, voire une des conditions préalables, pour la mise en oeuvre de la culture. Face à l'agressivité des microorganismes qui les attaquent, les plantes disposent de plusieurs mécanismes de résistance. Ces mécanismes se basent sur la résistance passive, celle qui existe dans la plante dès le départ, ou sur une résistance induite, qui ne se déclenche ou ne s'intensifie qu'au contact du parasite.

Parmi les mécanismes de résistance passive aux maladies, on note la présence de couches épaisses de cuticule ou de cire qui peuvent empêcher, par exemple, l'infection par des spores de *Botrytis cinerea*. Au Cap-Vert, on sélectionne des variétés d'oignon tolérantes aux thrips en fonction de l'épaisseur de la cuticule. On mentionnera de même des caractéristiques morphologiques qui vont, entre autres, modifier le micro-climat au niveau du feuillage. C'est ainsi que les variétés de tomates à disposition espacée permettent une meilleure circulation de l'air et, par là, une diminution des attaques de *B. cinerea*, suite au micro-climat plus sec à la surface des feuilles. Par ailleurs, ce sont les variétés de pommes de terre caractérisées par un enfouissement profond des tubercules qui seront le plus à l'abri des attaques de la teigne, *Phthorimea operculella*. A l'inverse, une variété comme Charlotte, qui tubérise en «surface» est plus sujette aux attaques.

Certaines plantes sont également bien pourvues en substances naturelles qui, en raison de leur action antimicrobienne, protègent les plantes contre diverses maladies.

Les mécanismes de résistance induite ou active font intervenir :

- la lignification des parois cellulaires ;
- la formation de papilles composées de callose dans les cellules ;
- l'immobilisation des bactéries et l'encapsulation de moisissures ;



- la formation de glycoprotéines qui renforce les parois cellulaires ;
- la synthèse de phytoalexines, substances antimicrobiennes synthétisées et accumulées par un grand nombre de plantes au contact des microorganismes.

Il est clair que ce dernier mécanisme, qui intervient également en matière de résistance à l'égard des insectes, se voit très étudié par les phytopathologistes et entomologistes. L'objectif est de trouver de nouvelles substances chimiques ou biochimiques qui permettent d'assurer un bon contrôle phytosanitaire tout en fonctionnant suivant des principes totalement différents des pesticides conventionnels (protéines anti-métaboliques, action sur le comportement des insectes, ... voir lutte chimique biorationnelle dans l'annexe 8).

Pour ce qui concerne les maladies cryptogamiques, ces substances de défense ont généralement une activité fongistatique réelle mais celle-ci n'est pas nécessairement indispensable, l'action de certaines substances induites par le pathogène pouvant se manifester de façon indirecte, en rendant plus résistantes certaines parois cellulaires auxquelles elles peuvent se combiner.

Les résistances actives sont généralement induites sous l'action d'éliciteurs, substances libérées par les parasites ou par les cellules des plantes hôtes dont la biochimie a été altérée sous l'influence du pathogène.

Un mécanisme de résistance intéressant est celui induit par l'acide salicylique chez les cucurbitacées après inoculation soit avec le virus de la nécrose du tabac, soit avec le champignon phytopathogène *Colletotrichum lagenarium*. L'acide salicylique ainsi libéré va promouvoir un mécanisme de résistance qui ne se limite pas à l'endroit de l'infection mais qui, au contraire, va s'étendre à d'autres parties du végétal. On parle dans ce cas de résistance systémique acquise. Chez le concombre, l'expression de cette résistance se ferait par la libération dans la plante d'une endochitinase extra-cellulaire. De nombreuses recherches se focalisent actuellement sur les substances chimiques susceptibles d'induire des mécanismes de résistance de ce type.

Certains parasites sont du type polyphage et s'attaquent à un grand nombre d'espèces (*Botrytis cinerea*, *Fusarium spp*, *Sclerotinia sclerotiorum*, ...), d'autres sont beaucoup plus sélectifs et se confinent à une espèce déterminée, voire à un cultivar. Souvent on retrouve différentes physioraces au sein des populations des parasites de ce type plus sélectif.

On parle de résistance verticale (ou physiospécifique) dans le cas d'une résistance d'une plante vis-à-vis d'un agent pathogène lorsqu'elle est déterminée par un seul gène. Cette résistance peut être contournée lors d'une mutation du gène d'avirulence du parasite (c'est à dire le gène déclenchant la réaction de résistance chez la plante par la production d'un éliciteur). D'autre part, on peut rencontrer des cultivars qui demeurent sensibles du fait qu'ils ne possèdent pas le bon gène qui leur permettrait de réagir suite à l'expression du gène d'avirulence du parasite. Dans le cas de la résistance monogénique à *Cladosporium fulvum*, par exemple, ce gène présent chez la plante coderait pour la synthèse d'une protéine réceptrice. Celle-ci serait susceptible de recevoir l'éliciteur produit par le parasite à la suite de quoi, une réaction d'hypersensibilité rapide est déclenchée (arrêt de l'infection, nécrose prématurée du tissu infecté). Dans tous les cas, pour qu'il y ait résistance, il faudra que les deux gènes de l'interaction «parasite-plante» soient présents : celui codant pour l'éliciteur (chez le parasite) et celui codant pour le récepteur (chez la plante cultivée).

La création de plantes fonctionnant suivant un mode aussi spécifique sont généralement obtenues en recherchant le gène de résistance d'intérêt chez des plantes sauvages ou dans des cultivars économiquement moins intéressants.

La résistance non spécifique (ou horizontale) limite le développement du parasite qui demeure compatible avec la plante hôte. C'est donc avant tout l'importance de la maladie qui est diminuée mais le parasite reste virulent. Il en résulte que les chances d'infection par n'importe quel isolat du parasite sont réduites. Les risques de contournement de ce type de résistance ne sont donc pas aussi aigus que dans le cas de la résistance complète ou verticale.

En culture légumière, de nombreux efforts de recherches de variétés résistantes ont été fournis surtout dans le cas de la tomate. Il faut dire que les connaissances génétiques de cette plante sont parmi les plus avancées. On dispose donc de variétés possédant une résistance complète (verticale) contre de nouvelles maladies. Il est à noter qu'une résistance complète ne veut pas dire que la résistance se maintient dans toutes les conditions : en cas de pression parasitaire extrême, d'associations de maladies, d'excès de température (période chaude et humide),... certaines résistances peuvent sauter. On parle alors de rupture de résistance. Par exemple, la variété F1 Small Fry VFN de tomate a connu des ruptures de résistance aux nématodes à galles durant cette période.

On peut connaître facilement les divers types de résistance qui sont associés à une variété donnée, le nom de celle-ci étant souvent associé à une combinaison de symboles correspondant aux différents types de résistance. Ainsi, «TmC5VF2» veut dire que la variété en question est résistante au virus de la mosaïque du tabac (Tm), à 5 races de *Cladosporium fulvum* (C5), au *Verticillium albo-atrum* (V), et enfin, contre 2 physios de *Fusarium oxysporum* (F2).

Grâce à ces résistances, un certain nombre de traitements phytosanitaires peuvent être épargnés et des maladies difficiles à combattre peuvent être enrayerées. On songe ainsi à de nombreuses maladies virales de la tomate, des poivrons et des cucurbitacées, au *Phytophthora capsici* qui sur culture de poivrons, peut être catastrophique,... sans oublier les manifestations de nématodes sur tomates. Il n'en reste pas moins que des maladies comme l'oïdium de la tomate, la pourriture à *Fusarium* du pied (*Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis lycopersici*) ou les nématodes des cucurbitacées posent encore et toujours de sérieux problèmes.

b) Les variétés résistantes aux insectes et acariens

Comme pour les maladies, des substances chimiques préexistantes ou induites dans les plantes peuvent intervenir dans les mécanismes de résistance : ce sont les substances allélochimiques (allomone : substance produite par la plante pour se défendre contre des ravageurs).

Ainsi, les légumineuses produisent la L-canavanine qui est une de leurs substances de défense. Ce produit chimique est une analogue de l'arginine, acide aminé essentiel. L'ingestion de L-canavénine par des insectes produit chez ceux-ci des arrêts de croissance et des aberrations de développement car les protéines, dans lesquelles cet analogue s'est substitué à l'arginine, sont distinctes des protéines fonctionnelles suite à des modifications intervenues au niveau de leur structure tertiaire et quaternaire (perturbation de certaines activités enzymatiques essentielles). Malheureusement tous les insectes ne sont pas sensibles à la canavénine et certains ont développé au cours de l'évolution une adaptation à ce mécanisme de défense. C'est ainsi qu'il existe diverses espèces de bruches qui sont tolérantes à la présence de cet antimétabolite et peuvent donc parasiter des produits végétaux de ce type. Mieux, ces insectes peuvent être tellement adaptés qu'ils sont les seuls à pouvoir tirer profit de cette nouvelle source d'azote non utilisable par les compétiteurs. On tente activement d'exploiter des mécanismes de résistance naturelle de ce type en transférant chez des espèces sensibles les gènes codant pour la synthèse de substances de défense. C'est le cas, par exemple, pour les protéines anti-métaboliques des graines de ricin qui sont toxiques pour de nombreux insectes



(inactivation des ribosomes). Il est bon d'avoir quelques notions sur la nature des interactions entre insectes prédateurs et plantes et de savoir combien complexes ces relations peuvent être et aussi comment ces mécanismes peuvent eux mêmes être contournés dans la nature par certaines espèces qui s'y sont adaptées. On peut ainsi garder le recul nécessaire devant toute nouvelle révolution biologique annoncée à grand renfort de publicité par les firmes d'ingénierie génétique, par exemple.

En cultures maraîchères, on connaît la cucurbitacine qui est présente chez les variétés courantes de concombre. Elle produit un certain effet répulsif sur les tétranyques. En absence totale de cucurbitacine, la sensibilité aux tétranyques est telle que les variétés en question ont dû être abandonnées. Ces mêmes substances peuvent devenir un signal de reconnaissance pour d'autres insectes au psychisme plus évolué comme les chrysomélidés qui vont s'attaquer aux cucurbitacées, attirés cette fois par la cucurbitacine. A nouveau, cet exemple illustre la complexité qui règne dans les interactions entre plantes et insectes.

De même, la tomatine, présente sur les fruits verts de tomate, protégeraient partiellement ceux-ci des attaques des chenilles de noctuelles. La nicotine est présente dans le tabac mais aussi dans de nombreuses autres plantes comme la pomme de terre, l'aubergine, le piment, la tomate et même les choux fleurs et brocolis. On ignore, cependant dans quelle mesure les concentrations retrouvées sont susceptibles d'apporter une protection naturelle. A noter également la présence de glucosides cyanhydriques dans le manioc et le sorgho qui assureront une protection à l'égard des petits mammifères.

Les plantes peuvent également utiliser, pour se protéger, des barrières physiques comme celles résultant de la présence d'une cuticule épaisse ou de poils glanduleux. C'est la pilosité importante des lignées 10, 16 et 18 de jaxatu (aubergines africaines obtenues au Centre pour le Développement de l'Horticulture de Cambérène - Dakar) qui permet de réduire les attaques d'acariens et c'est grâce à ses poils glanduleux que la tomate présente une meilleure tolérance aux acariens, du moins en comparaison avec l'aubergine ou les cucurbitacées.

Par contre, ce sont ces poils glanduleux qui freinent, en culture de tomate, le développement de *Phytoseiulus persimilis*, l'acarien prédateur utilisé en lutte biologique contre l'araignée rouge en cultures sous abris.

Un autre acarien responsable de l'Acariose bronzée, *Aculops lycopersici* présent en zone soudano-sahélienne est, quant à lui, capable de provoquer par ses piqûres la nécrose des poils glanduleux et des cellules épidermiques ... et la tomate y est donc sensible !

Les poils glanduleux ne sont pas qu'une barrière physique : ce sont aussi le siège de production de diverses substances chimiques qui sont responsables de l'odeur dégagée par le feuillage des tomates. Ce sont des substances émises par ces poils dont ont tiré profit, les chercheurs de l'université de Cornell aux Etats-Unis en développant une nouvelle pomme de terre à partir de *Solanum berthaultii*. Cette variété sauvage est caractérisée par la présence, sur la tige et les feuilles, d'un grand nombre de poils sécrétant des substances pièges et nocives pour les insectes.

Actuellement on accorde une importance des plus grandes à la recherche de substances anti-appétentes, ou susceptibles de modifier le comportement des insectes ou, encore, possédant une action hormonale (inhibition de la mue chez les stades larvaires des insectes, par exemple). Ces substances peuvent être rencontrées chez un très grand nombre de plantes et font l'objet d'études détaillées. Ces recherches peuvent conduire au développement de nouveaux produits chimiques utilisables comme moyens de lutte chimique dits biorationnels. On peut aussi envisager de transférer les gènes responsables vers d'autres plantes dans l'espoir de créer des variétés résistantes.

b) Le greffage

Pas aussi courant qu'en arboriculture, le greffage en maraîchage peut, néanmoins, apporter une contribution intéressante face à divers problèmes phytosanitaires majeurs, dont ceux du sol tout particulièrement.

Le greffage offre plus de souplesse dans la recherche de solutions et, surtout, n'entrave presque pas la diversité biologique ni la sauvegarde de variétés rustiques. Chez une plante greffée, il n'est pas nécessaire que les deux partenaires soient résistants, mais seulement celui qui est exposé à l'infection. Comme le sol constitue une source importante d'infection, il sera donc très utile de disposer de porte-greffes résistants aux bactéries, champignons, nématodes, voire aux insectes du sol.

Le porte-greffe ne fournit généralement pas de fruits ou autres organes comestibles puisqu'il ne sert qu'à fournir des racines et une base de tige. On a donc, du moins en théorie, un choix étendu de porte-greffes. En outre, ce choix est moins limité que pour les géniteurs de résistance exploités dans les programmes de sélection habituels, car les compatibilités de greffe sont beaucoup plus étendues que les compatibilités d'hybridation. Il est donc possible d'avoir des porte-greffes provenant de plantes appartenant à un genre différent de celui du greffon.

Messiaen (1991) rappelle quelques applications de la greffe pour cultures de solanées et de cucurbitacées. En pays Méditerranéens, on dispose de porte-greffes de tomates résistants aux *Fusarium*, *Verticillium*, *Meloidogyne* et au corky root, et des porte-greffes de melons et concombres résistants à la fusariose. Pour les pays tropicaux, il existe des porte-greffes résistants au flétrissement bactérien, pour la tomate et l'aubergine, résistants aux *Meloidogyne*, pour l'aubergine également, et résistants à la fusariose, pour la pastèque. Cette technique est très utilisée en Asie.

Tout n'est cependant pas positif dans l'utilisation de la technique de greffage car les maladies vasculaires et les virus peuvent se transmettre par voie systémique du porte-greffe vers les greffons résistants. Il faudra donc veiller à ne pas contaminer les porte-greffes.

Le greffage nécessite donc un degré de technicité et d'hygiène qui ne sont pas à la portée de tout horticulteur. Il faut, en effet, d'abord obtenir les deux partenaires par semis, réaliser les greffages, éviter les contaminations du porte-greffe, etc... Cette technique serait donc à préconiser auprès de pépiniéristes spécialisés qui assureraient la production et la commercialisation des plants greffés en vue d'approvisionner les producteurs de légumes proprement dits.

c) Les variétés à cycle court

En Afrique, les conditions climatiques sont souvent désavantageuses pour la production de légumes dits européens (tomate, haricot, pomme de terre, chou, ...). Même dans la zone soudano-sahélienne, qui bénéficie pendant certaines périodes de l'année de conditions plus propices pour la réalisation de ces cultures, on est confronté à des périodes plus difficiles (chaude et humide) au cours desquelles les productions horticoles sont problématiques. La présence conjointe d'une température et d'une humidité élevées entrave fortement la rentabilité des principales cultures maraîchères en raison de la pression très importante qui sera exercée par les diverses maladies foliaires et les ravageurs phytophages.

Pour ces raisons, entre autres, il est apparu intéressant pour les sélectionneurs de mettre sur le marché des variétés à cycle court, limitant au maximum l'exposition de la plante aux conditions défavorables. De cette façon de nombreuses maladies et ravageurs n'ont pas suffisamment de temps pour s'installer de façon préjudiciable sur la culture. Un exemple concret d'application est rencontré avec les variétés de tomates Estrela et Formosa développées au Cap-Vert et Xina au Sénégal. Outre leur résistance aux nématodes, ces variétés présentent des caractéristiques de



rusticité et de précocité qui en font un matériel de choix très prisé au Cap-Vert et également testé dans d'autres pays de la zone Soudano-sahélienne.

Au Centre pour le Développement de l'Horticulture de Cambérène (Dakar), une technique de culture de l'oignon (variété violet de Galmi) en deux périodes courtes au lieu d'une longue permet de réduire notablement l'incidence des maladies et ravageurs. Le principe est de récolter les bulbilles obtenues après une première période de culture (75 jours) en conditions favorables (fin mars-début juin) et de les conserver en installations appropriées pendant la saison défavorable. Après l'hivernage, les bulbilles seront replantées et fourniront des oignons prêts à être récoltés après une seconde période de croissance en conditions favorables en dehors de la période de pullulement des thrips (80-100 jours entre octobre et janvier). Dans le même ordre d'idées, l'utilisation des plants élevés en mottes permet de diminuer le cycle au champ.

d) L'utilisation de matériel végétal sain

De nombreuses maladies bactériennes, fongiques et virales sont transmises par les semences (exemples : *Alternaria solani* et *Corynebacterium michiganense* qui peuvent être transmis par des semences de tomates). Il y a donc un intérêt fondamental à bien suivre, d'une part, la qualité des semences produites localement en conditions contrôlées et, d'autre part, exiger des garanties auprès des sociétés commerciales spécialisées. Cela peut déjà se réaliser, dans le premier cas, en faisant respecter les règles élémentaires d'hygiène et de sélection de matériel de départ et, dans le second cas, en exigeant la certification des semences et en réalisant consciencieusement les contrôles y afférent.

La qualité des semences peut être améliorée grâce à certains traitements de désinfection. Des produits communs comme le thirame (ou TMTD) sont également très utiles pour éviter des contaminations par des germes présents à la surface de la semence ou dans le sol. Plus récemment, un ensemble de produits plus spécifiques et de grande efficacité sont utilisés en traitement des semences. On citera, par exemple, l'iprodione, le captane, l'hymexazol, l'oxadiazil pour diverses maladies du sol ainsi que divers inhibiteurs de la biosynthèse de l'ergostérol pour la protection contre des maladies affectant les parties aériennes des plantes en début de croissance. Des préparations microbiennes apparaissent également en vue de protéger les semences par des méthodes biologiques (voir les paragraphes consacrés à l'amélioration des méthodes de lutte chimique et à la lutte microbiologique).

En culture de pomme de terre, la qualité des tubercules-semences est, elle aussi, un facteur critique pour la réussite de la culture. Au Sénégal, par exemple, lorsqu'une 2^{ème} culture de pomme de terre est réalisée à partir de semences locales gardées par les agriculteurs (la 1^{ère} culture ayant été réalisée à partir de plants importés certifiés), on peut avoir des infections très graves de *Rhizoctonia solani*. En pomme de terre, encore, de même que dans d'autres cultures, comme le manioc et la patate douce, la propagation de viroses lors de la multiplication du matériel végétal (notamment par boutures) peut occasionner de sérieux déboires aux cultures. Il est donc primordial de produire les semences et le matériel végétal de départ dans des conditions très contrôlées, souvent dans des régions isolées encore épargnées par les maladies redoutables (absence de pucerons vecteurs, par exemple).

Par ailleurs, on dispose maintenant de techniques de multiplication et d'assainissement *in vitro*, comme les cultures de méristèmes seules ou combinées à la thermothérapie. Ces techniques permettent de préparer du matériel végétal indemne de maladies ou de virus (en pré-plants de pommes de terre, patates douces,

fraisiers, ...). Des précautions particulières doivent être prises lors de la période d'acclimatation de ce matériel, avant sa commercialisation et la transplantation chez les maraîchers.

Mais il n'est pas toujours nécessaire d'avoir recours à des techniques très sophistiquées. Une politique comme celle prônée par le Centre pour le Développement de l'Horticulture de Cambérène (Dakar) et basée sur l'obtention de plantules saines et vigoureuses au sortir de la pépinière peut déjà donner des résultats très probants, tout en restant plus accessible aux petits horticulteurs. Le principe est simple : réaliser les semis sur un substrat sain (tourbe ou compost bien décomposé, voire stérilisé). Ce matériau préalablement compacté en mottes et isolé du sol, permet d'obtenir des plants dont la reprise est assurée. En outre, le matériel transplanté est indemne de maladies du sol et les plantules n'ont pas eu à subir des infections primaires de nématodes. Précisons, enfin, que cette technique est tout à fait compatible avec l'application de petites quantités de pesticides sur les semences ou dans la motte de semis au moment du repiquage, ce qui permet de préserver plus longtemps encore un bon état phytosanitaire du matériel végétal produit.



Annexe 2 – Les mesures phytotechniques - Les pratiques culturales

Il existe quantités de pratiques culturales qui permettent d'assurer une certaine protection phytosanitaire ou, du moins, de produire des légumes dans des conditions telles que ceux-ci restent sains le plus longtemps possible au cours de la période de production.

On distinguera deux approches différentes dans la façon d'inventorier les pratiques culturales qui peuvent s'avérer intéressantes. En effet, on peut, d'une part, faire appel aux connaissances récentes accumulées dans des contextes techniques pointus (cultures abritées, cultures hors sol, systèmes sophistiqués d'irrigation, multiplication du matériel végétal par des méthodes biotechnologiques, etc ... (cf. annexe)). On peut, d'autre part, puiser dans le patrimoine laissé par les anciens, dans l'héritage collectif que l'on retrouve en divers terroirs puisque la production de légumes s'effectue depuis des temps immémoriaux et qu'il a bien fallu développer des méthodes de protection des végétaux avec les moyens de l'époque, lorsque les produits phytosanitaires modernes n'étaient pas encore disponibles.

Certaines de ces techniques sont connues et ont acquis leurs lettres de noblesse : elles figurent actuellement dans des ouvrages reconnus. D'autres constituent aujourd'hui encore des coutumes locales, des habitudes ancestrales que les horticulteurs de terrain appliquent même si ces techniques ne font pas partie des enseignements dispensés dans les écoles d'horticulture ni du savoir diffusé par les canaux officiels. On donnera ici un petit aperçu sur ce qui constitue les bases mêmes des techniques horticoles. Il ne faut pas oublier que derrière ces quelques principes de base, la sagesse populaire en a conservé bien d'autres qu'il serait bon de rappeler au souvenir de l'homme moderne lorsqu'il s'avère que ces informations s'appuient effectivement sur de bases bien solides et vérifiées.

a) Les techniques de pépinières

La technique de mise en pépinière présente certains avantages du point de vue phytosanitaire :

- Elle permet d'assurer un bon départ à la plante avant que celle-ci ne soit transposée dans un endroit moins favorable à son développement. En pépinière, les plantules peuvent recevoir tous les soins, l'eau, une bonne fertilisation de sorte qu'une bonne vigueur sera obtenue, ce qui est essentiel pour le développement futur.
- Il est plus facile de protéger une petite surface, souvent proche du lieu d'habitation, que ce soit avec des moyens physiques ou chimiques, qu'une vaste étendue plus difficilement accessible.
- La pépinière peut être menée avec des plantes en surnombre, ce qui rend possible une certaine sélection au moment du repiquage par élimination des individus les plus chétifs.
- Le choix de la localisation de la pépinière doit être bien réfléchi pour éviter nombre de problèmes phytosanitaires. Il faut donc sélectionner un bout de terrain plat, meuble, sans cailloux, de texture légère (fraction sablonneuse importante) et riche en matière organique humifiée (fumure organique régulière et abondante).



On choisira un endroit propre peu envahi par les mauvaises herbes et exempt des résidus des cultures précédentes de façon à éviter adventices, maladies et ravageurs. A cette fin, on peut par exemple tirer leçon d'une pratique des cultivateurs sénégalais qui utilisent la fiente de poulets pour désherber les lits de germination. Après avoir brûlé les mauvaises herbes, ce fumier est incorporé dans le sol et servira d'engrais. On peut aussi procéder au désherbage de l'endroit choisi pour installer la pépinière en utilisant les moyens mécaniques ou chimiques décrits plus loin (voir paragraphe consacré au désherbage en fin de ce chapitre).

- Il peut parfois être nécessaire de désinfecter le sol de la pépinière lorsque l'on sait que le sol est infecté par des nématodes ou des maladies et qu'il n'est pas possible de déplacer la pépinière vers un autre endroit. Il faut savoir que les produits chimiques utilisables à cet effet sont souvent des fumigants dangereux à manipuler. Ces traitements doivent être appliqués par des personnes compétentes (souvent après agrément par les autorités) et avec un matériel particulier, ce qui limite beaucoup les possibilités d'utilisation dans les petites exploitations. Il existe aussi des moyens alternatifs grâce à des dérivés chimiques appliqués ou incorporés dans le sol sous forme liquide (solution aqueuse de Vapam) ou solide (granulés de Basamid). En réalité, ces dérivés se transforment progressivement dans le sol et donnent naissance à l'isothiocyanate de méthyle, qui est un gaz biocide, désinfectant le sol en profondeur. Il faut respecter un délai de quelques semaines avant de pouvoir utiliser le sol de façon à ce que les résidus phytotoxiques aient le temps de se dissiper. Ces traitements sont très efficaces mais peuvent, outre leur coût, présenter de sérieux inconvénients. Il faut savoir, en effet, que n'étant pas sélectifs, ces produits détruisent l'ensemble de la microflore et de la microfaune tellurique. Il s'ensuit que, si l'on n'y prend garde, on peut très rapidement voir ce sol à nouveau colonisé par des agents pathogènes dont le développement n'est plus entravé par les antagonistes naturels.

D'autres alternatives existent : ainsi on peut réaliser un traitement de la pépinière avec des produits cupriques (comme le Cryptonol) qui assureront une certaine protection à l'encontre de certains agents pathogènes, notamment ceux responsables des fontes de semis. Des traitements du sol peuvent aussi être réalisés par des moyens physiques plus à la portée des petits maraîchers. On pense bien sûr aux brûlis de déchets de bois ou de paille. L'effet de ces pratiques est assez limité sur le plan phytosanitaire strict mais un effet très favorable peut être attendu sur la fertilisation et donc sur la vigueur et la résistance des plantes.

La solarisation du sol constitue un moyen de lutte relativement intéressant pour les pays chauds (voir annexe consacrée au traitement du sol en cultures protégées); il n'est pas aussi radical que le traitement à l'aide de fumigants mais apporte déjà des améliorations considérables pour peu que l'on incorpore cette technique dans un ensemble cohérent de mesures culturales et prophylactiques (rotation, choix des variétés, mesures d'hygiène dans l'exploitation,...)

Il faut tenir compte du fait que les sols désinfectés en profondeur, que ce soit par des moyens chimiques ou physiques, vont nécessiter une adaptation de la fertilisation. En effet, un stock de nutriments ammoniacés s'est constitué consécutivement au traitement et celui-ci va représenter une source importante d'azote pour la culture qui sera installée sur le sol désinfecté.

Une bonne pépinière pourra aussi nécessiter l'utilisation de substrat organique, voire de compost. Une attention toute particulière sera accordée à la qualité de cette matière (degré de maturation des composts !) et un traitement physique (vapeur, par exemple) pourra s'avérer très rentable en termes de protection phytosanitaire.

Comme déjà évoqué ci-dessus, la pépinière est un endroit privilégié qu'il faut protéger contre nombre de ravageurs et aléas climatiques :

- au moyen de clôtures et de haies pour éviter les déprédations causées par divers animaux domestiques et sauvages ;
- au moyen de filets, de branchages, de feuilles de palmier et autres dispositifs physiques visant à se protéger des oiseaux et même de certains insectes. L'utilisation de voiles synthétiques non tissés est particulièrement remarquable : cette technique, facile à mettre en oeuvre, permet de protéger la pépinière contre de nombreux insectes comme la teigne des crucifères, diverses noctuelles, les mouches mineuses et même les aleurodes. Cette technique rencontre un succès certain au Sénégal et est diffusée en milieu paysan ;
- en disposant les plants sur des tables de travail de façon à les mettre à l'abri de divers mollusques et rongeurs (uniquement applicable dans un contexte technico-économique adapté : plantes à très hautes valeurs commerciales, stations de production de semences,...) ;
- en effectuant les semis dans des bambous (coupés dans le sens de la longueur) remplis de compost désinfecté et maintenus en hauteur ;
- en maintenant autour de la pépinière une bande de terre nue, non irriguée, qui pourra constituer une barrière pour des ravageurs se déplaçant à la surface du sol (mollusques, vers gris, nématodes) ;
- en appliquant de la cendre de bois en surface de la pépinière, ce qui apporte des éléments fertilisants au sol tout en formant une protection à l'égard des insectes (méthode traditionnelle dont l'efficacité devrait être mieux mesurée) ;
- en protégeant les jeunes semis d'un ensoleillement excessif ou de précipitations trop violentes au moyen d'une ombrière ;
- en protégeant le sol et les végétaux des excès d'eau grâce à un paillage du sol et grâce à des dispositifs assurant un drainage efficace. Ce paillage sera enlevé dès la que la culture commence à lever !
- en adaptant la densité des semis en fonction des conditions climatiques. Ainsi, en hivernage, on doublera généralement l'écartement entre rangs et on augmentera l'espace sur le rang pour limiter les fontes de semis.

Dans des exploitations de taille plus respectable on pourra combiner ces diverses formes de protections en travaillant dans une pépinière moderne qui sera installée dans un endroit *ad hoc*, comme un tunnel plastique équipé comme il se doit.

b) L'irrigation

Il va de soi que les apports d'eau doivent épouser le plus fidèlement possible les besoins de la culture et être adaptés en fonction des stades d'avancement et des cycles de production. Il est clair, par ailleurs, que l'irrigation différera suivant les régions et les saisons : dans certaines circonstances les pluies seront suffisamment abondantes (et parfois même de trop), alors que dans d'autres la quasi-totalité de l'eau devra être apportée par irrigation. Dans le premier cas, il faudra éventuellement drainer le sol pour éviter l'asphyxie des plantes et dans le second cas on utilisera des dispositifs (cuvettes, terrasses, paillage,...) de façon à conserver l'eau des précipitations ou de l'irrigation de la façon la plus efficace possible. Quoi qu'il en soit, il faudra toujours éviter les à-coups d'irrigation et les situations de stress hydrique qui risquent de porter atteinte au bon état de la culture.

La qualité de l'eau est essentielle. On recherchera avant tout des eaux contenant peu de sels dissous pour ne pas entraver la croissance, le rendement et la qualité de la production (calibre des fruits). Par exemple les seuils de salinité de l'eau d'irrigation au-delà desquels la laitue, le fraisier et l'oignon subissent une perte de rendement sont respectivement: 576, 448 et 512 mg de sels dissous/l.



Inonder le sol durant quelques mois avant l'installation de la culture peut présenter des avantages en réduisant les populations de nématodes et le nombre de propagules de champignons polyphages. Ceci sera surtout possible en cultures de bas-fonds ou lorsque l'approvisionnement en eau ne pose aucun problème. Par contre, dès l'installation de la culture, ces excès d'humidité devront être contrôlés pour éviter le développement de maladies, comme les fontes de semis (*Pythium*, *Rhizoctonia* pour de nombreuses espèces maraîchères; *Sclerotium rolfsii* sur oignons). Un excès d'irrigation entraîne également un lessivage important des éléments fertilisants qui peuvent provoquer une pollution des eaux.

Une pré-irrigation peut procurer d'autres avantages, notamment sur le plan du contrôle des adventices. En effet, on provoquera ainsi la germination de nombreuses graines puis l'on détruira les adventices par une technique appropriée (en désherbant ou, tout simplement, en laissant le sol se dessécher de façon à détruire les jeunes adventices levées). On réduira ainsi le stock semencier du sol, ce qui facilitera le contrôle des mauvaises herbes lorsque la culture proprement dite sera installée.

Il ne faut pas perdre de vue que l'introduction dans une région aride d'un mode d'irrigation, quelle que soit la technique utilisée, va progressivement modifier les écosystèmes en favorisant le développement d'espèces nuisibles qui y étaient inconnues avant que ces techniques ne soient introduites.

Cependant, le choix d'un mode d'irrigation plutôt qu'un autre ne sera pas sans conséquence sur l'état sanitaire de la culture. Il est bien connu que l'apparition de maladies du feuillage comme le mildiou des cucurbitacées et l'alternariose en culture de tomates sont favorisées par l'aspersion, tout comme la dispersion de certaines maladies bactériennes, comme le *Xanthomonas vesicatoria* chez la tomate et d'autres solanées.

En revanche, certains ravageurs supportent difficilement l'aspersion, c'est le cas des thrips (*Thrips tabaci*), de la cochenille du manioc (*Phenacoccus manihoti*) et, dans une moindre mesure, des acariens qui voient leur développement enrayé avec ce mode d'irrigation suite à l'impact mécanique des gouttes sur ces ravageurs.

Une forme primitive de l'aspersion, à savoir l'arrosage manuel des cultures, peut provoquer le splash : les gouttelettes après avoir touché le sol rebondissent sur le feuillage qu'elles peuvent couvrir de particules colloïdales. Parmi celles-ci, on peut trouver aussi des spores de champignons comme le *Phytophthora parasitica* et le *Phytophthora infestans*, ce qui pourra occasionner des pourritures aux fruits de tomates.

Les sols irrigués à la raie ont tendance à se fissurer plus facilement que les sols irrigués par aspersion. En conséquence, les dégâts de la teigne de la pomme de terre seront plus importants avec ce premier mode d'irrigation car les tubercules seront, dans ce cas, plus accessibles pour la teigne et ses larves.

En outre, l'irrigation à la raie favorisera la dissémination des spores des champignons comme, par exemple, le *Phytophthora capsici*, qui peut provoquer des dégâts spectaculaires en culture de poivron. L'irrigation par aspersion, ou mieux, au goutte à goutte enrayera efficacement le développement de cette maladie.

L'irrigation goutte à goutte présente de nombreux avantages tant pour la prévention des maladies foliaires et du sol évoquées ci-dessus, que par les possibilités qu'offre ce système d'irrigation pour maintenir l'humidité du sol à un niveau constant. Ceci permet d'éviter certains désordres qui sont à l'origine de la pourriture apicale, par exemple. On peut, en outre réduire les dégâts d'un ravageur des cultures de patates douces, le *Cylas puncticollis*, celui-ci étant défavorisé par les systèmes d'irrigation assurant le maintien d'une humidité constante dans le sol.

Par ailleurs, la technique du goutte à goutte se prête parfaitement à l'application

de pesticides destinés au traitement du sol et de la culture (application de pesticides dans le système d'irrigation = chemirrigation). On verra plus loin que, dans le cas d'insecticides systémiques, on peut disposer ainsi d'une méthode tout à fait sélective car aucun résidu de traitement n'est laissé sur les surfaces végétales, ce qui représente un avantage considérable en matière de respect des insectes utiles. Il faut ajouter, cependant, que ces techniques nécessitent un niveau de technicité assez élevé et qu'en outre, il est indispensable d'avoir une bonne connaissance du comportement des pesticides dans le sol sans quoi le produit peut être appliqué en pure perte et être nuisible à l'environnement. Il faudra également interdire le personnel de boire de l'eau du système d'irrigation.

c) Conduite de la culture au champ

Toute une série d'opérations culturales que l'on peut mettre en relation avec le mode de conduite de la culture peuvent avoir un effet bénéfique sur le maintien d'un bon état sanitaire.

Pour commencer et avant d'aborder la conduite de la culture proprement dite, on peut évoquer brièvement le travail du sol qui a pour but de rétablir une bonne structure. En conséquence, l'aération et l'état hydrique s'en verront améliorés, ce qui favorisera la vigueur de la plante et augmentera sa résistance à l'égard des pathogènes. En outre, le travail du sol au rotovator, par exemple, ramènera à la surface du sol quantités de larves d'insectes (noctuelles, courtilières, termites,...), ce qui aura pour effet de réduire le potentiel d'infestation.

La densité de semis/plantation ne peut être trop élevée au champ : cela réduira certaines attaques de champignons foliaires, comme le mildiou chez les cucurbitacées, ainsi que le flétrissement bactérien en culture de pomme de terre. Une densité trop élevée peut également être à l'origine d'un étiolement des plantes et d'une plus grande sensibilité à la pourriture grise. Même en pépinière la densité de semis ne sera pas exagérée car il faut éviter les fontes de semis et l'étiolement des plantes. En Afrique, on constate, cependant, que l'on a tendance à privilégier les fortes densités et à éviter les tailles dans le but de réduire les dégâts d'oiseaux.

Il peut arriver, cependant, qu'une densité de semis élevée soit préjudiciable au développement de certaines maladies : c'est le cas, en culture d'arachide, pour des maladies virales comme la rosette qui apparaît moins aisément lorsque la végétation est dense. Dans ce cas, en effet, les pucerons qui transmettent la maladie seront plus facilement contrôlés par les champignons entomopathogènes, lesquels peuvent mieux se développer sous un couvert plus dense et plus humide.

Les opérations de repiquage devront être réalisées de façon à éviter de blesser les racines car les blessures seront des portes ouvertes à des parasites habitant le sol. La plantation de mottes est de ce fait très avantageuse mais le repiquage à racines nues peut être amélioré par la technique de pralinage qui consiste à tremper les racines dans une boue fluide faite d'eau, d'argiles et d'un peu d'engrais voire de pesticides spécifiques pour la lutte contre certaines maladies du sol.

Il existe quantités des pratiques culturales qui peuvent avoir des conséquences favorables sur l'état sanitaire de la culture. Ainsi, le fait de disposer les plants en ligne va faciliter le sarclage, le désherbage ainsi que la multitude de soins que l'on peut apporter à la culture pour la garder en bonne santé.

Le tuteurage peut empêcher les plantes de ramper au ras du sol et d'être ainsi victimes de maladies cryptogamiques comme les pourritures occasionnées sur fruits de tomates par *Rhizoctonia solani* et *Phytophthora parasitica*. Cependant, il faut aussi veiller à désinfecter les tuteurs entre deux saisons de culture car ils peuvent être source de contamination par *Didymella lycopersici*, par exemple.

Le tuteurage n'apporte pas que des aspects positifs sur le plan de la protection phytosanitaire. En effet, suite aux manipulations particulières que réclament les



cultures tuteurées, il est recommandé d'utiliser des variétés de tomates résistantes à la mosaïque du tabac, ce qui n'est pas obligatoire en cultures industrielles non palissées.

Il est connu que la taille peut être une opération d'assainissement, surtout en arboriculture. En maraîchage aussi, la taille servira à freiner le développement de certaines maladies : pensons à l'*Alternaria* et à l'oïdium en culture de tomates. En revanche, après la taille, les fruits seront plus exposés aux dégâts d'oiseaux et aux coups de soleil et des risques sanitaires très sérieux ne sont pas à négliger (les blessures occasionnées forment des portes d'entrée pour diverses maladies, le passage d'un plant à l'autre peut s'accompagner d'une dissémination de maladies bactériennes ou virales). Il faut donc veiller à utiliser des outils propres et tranchants. Il existe d'ailleurs des sécateurs pneumatiques qui sont continuellement désinfectés à l'aide d'une solution antiseptique disposée dans une petite cartouche sur l'instrument lui-même : après chaque mouvement tranchant, un peu de liquide désinfecte l'outil et les risques de multiplication de la maladie sont ainsi très limités. Il est, cependant, déjà possible de limiter les risques en utilisant une simple lame de rasoir que l'on trempera dans de l'eau de javel avant de passer au plant suivant. En outre, on veillera à réaliser la taille pendant les heures chaudes et sèches de la journée, ce qui permettra une cicatrisation plus rapide des blessures occasionnées. Il est utile de mentionner ici que l'égourmandage des plants de tomates (cultures tuteurées) doit être réalisé soigneusement, même lorsque la culture est âgée et économiquement moins intéressante, car c'est vers ces jeunes organes que mineuses et mouches seront préférentiellement attirés, ce qui leur permettra de se propager et de contaminer une autre culture par après.

Enfin, il n'est sûrement pas inutile d'insister sur le fait que les organes malades éliminés (feuilles, fruits) doivent être détruits consciencieusement (si possible brûlés) pour éviter qu'ils ne servent à la propagation de l'inoculum qui pourra, par la suite, contaminer les plantes demeurées saines.

Quantités de barrières physiques peuvent être dressées tout au long du développement de la culture pour éviter des problèmes phytosanitaires. Ce sont tout d'abord les brise-vents qui permettront d'éviter des dégâts mécaniques dus au frottement et qui joueront un rôle capital dans la régulation du climat à l'échelle de la parcelle. Leur choix devra s'effectuer de façon judicieuse car on sait qu'en culture de pastèques, par exemple, les petites parcelles protégées par des lignes de maïs seront plus sensibles aux attaques de pucerons qui sont attirés par cette espèce choisie comme brise-vent.

Le paillage constitue une autre forme de barrière physique qui protège le sol de l'érosion et empêche le développement de plantes adventices. En outre un paillage jaune aura un certain effet sur *Bemisia tabaci*, qui sera momentanément détournée de la culture (réduction dans la transmission du virus TYLC). Quant à la solarisation du sol à l'aide d'une fine bâche plastique avant l'établissement de la culture, elle permettra, suite à l'augmentation de la température du sol, de réduire les populations de nématodes, cryptogames ainsi que le stock semencier du sol (mauvaises herbes). Signalons, toutefois, qu'en ce qui concerne les nématodes la solarisation peut avoir comme effet de provoquer leur enkystement en profondeur, ce qui, à terme, ne supprime pas les problèmes !

Au dessus de la culture, d'autres barrières physiques peuvent être installées. Ce sont notamment les filets de protection qui apportent un ombrage léger, une excellente aération, une régulation des températures et qui, surtout, constituent un obstacle hermétique pour de nombreux insectes ravageurs des cultures. Une protection similaire peut être obtenue à l'aide des voiles synthétiques non tissés particulièrement efficaces en pépinières vis-à-vis de *Plutella xylostella* et les insectes occasionnant des viroses précoces du type TYLC ou CMV, par exemple.

Enfin, on terminera en mentionnant quelques accessoires familiers aux horticulteurs aguerris : les épouvantails et les affolants qui visent à écarter les oiseaux ainsi que les pièges mécaniques qui permettent de capturer les rongeurs indésirables.

d) Rotation-assolement-association

Le respect d'une rotation suffisamment longue et le choix de la succession des cultures au sein de la rotation (assolement) sont deux éléments clé pour le maintien du bon état sanitaire dans l'exploitation.

Ce sont essentiellement des problèmes causés par les nématodes et par divers champignons du sol (fusarioses par exemple) qu'il faut redouter lorsque la rotation est trop courte. Et même une longue rotation peut encore poser des problèmes car beaucoup de cultures légumières sont sensibles aux nématodes à galles. Il faudra donc veiller à introduire dans l'assolement des espèces tolérantes, comme la patate douce, le fraisier, l'ail, l'oignon, le maïs et aussi, l'amarante-épinard (*Amaranthus cruentus*), l'arachide de bouche. On peut aussi alterner avec des cultures de céréales qui n'attirent pas les nématodes ou d'arachides qui peuvent piéger certaines espèces.

La jachère peut également entrer en considération à condition qu'elle soit maintenue propre (jachère travaillée ou pâturée) car de nombreuses espèces de mauvaises herbes peuvent favoriser la multiplication des nématodes et d'autres maladies.

Un engrais vert (comme le Sorgho X Sudan-grass, d'abord coupé sur place puis enfoui) permettra de diminuer le potentiel infectieux du sol en *Pseudomonas solanacearum*, *Pythium aphanidermatum* et nématodes et sera très utile dans une rotation typique de légumes en milieu tropical.

Le maraîchage étant très peu mécanisée dans de nombreuses régions, elle offre encore des possibilités de travailler avec des associations d'espèces qui ne doivent pas nécessairement être plantées ou récoltées en même temps. Cela permet de mieux occuper le sol tout au long des saisons mais surtout, on peut y trouver un intérêt appréciable sur le plan de la protection phytosanitaire. Ainsi, on peut éviter la propagation d'une maladie en alternant au sein d'une même parcelle des lignes de plantes appartenant à des familles différentes : tomate et arachide, ou tourte et choux ou tomates et gombos, choux et oignons, Comme dans le cas des assolements tout n'en est pas pour autant permis. Ainsi, on évitera parfois l'association courge avec pommes de terre car l'humidité produite par la première favorisera le mildiou chez la seconde. De même, les papayers ne feront pas bon ménage avec de nombreuses espèces maraîchères du fait qu'ils peuvent héberger les nématodes à galles. Enfin, il faut éviter que des ravageurs polyphages ne passent d'une culture ayant atteint un stade avancé vers une autre à un stade plus jeune qui se trouverait ainsi contaminée de façon précoce. Dans ce domaine les expériences accumulées par les anciens peuvent être très utiles mais il ne faut pas vouloir les extrapoler à d'autres régions avant de s'être bien assuré que la recette fonctionne aussi dans d'autres contextes.

Une des plantes cultivées dans l'association peut aussi servir de barrière physique comme, par exemple, l'installation de brise-vents de maïs ou de sorgho en micro-parcelles légumières. Ces barrières peuvent, en outre, faire obstacle à la dissémination de certaines maladies. Parfois, cependant, il faut pouvoir neutraliser des effets préjudiciables qui peuvent en résulter : comme les rangées de maïs attirent les pucerons (risques de transmission de viroses en cultures de pastèques), on veillera à traiter spécifiquement ces brise-vents avec un insecticide approprié qui ne risque pas de laisser des résidus dangereux pour l'homme sur la culture voisine.



Par ailleurs, les plantes associées peuvent dégager des substances chimiques qui feront fuir ou désorienter certains insectes. Ainsi, on aura moins d'attaque de teigne, *Plutella xylostella*, lorsque le chou est associé à la tomate car la présence de celle-ci empêche l'insecte de repérer les plantes de choux. De même, la présence de basilic en culture de tomate aura un effet dissuasif sur les mouches mineuses.

Même dans des systèmes de cultures requérant un très haut niveau de technicité les associations de cultures peuvent encore jouer un rôle important. C'est le cas dans des programmes de lutte intégrée en cultures de légumes sous serre en Europe où le contrôle des acariens par le prédateur *Phytoseiulus persimilis* pose des problèmes en cultures de tomates mais non en poivrons ou en concombres. Un des problèmes majeurs provient du fait qu'en culture de tomates, le prédateur s'engluie à cause de la présence de poils collants qui sont très abondants sur les feuilles de cette espèce alors que ce n'est pas le cas chez le poivron ou le concombre. On propose dès lors d'alterner des rangs de tomates avec des rangs de poivrons ou concombre afin que l'auxiliaire puisse se développer convenablement sur ces dernières espèces et améliorer la protection des plants de tomates qui se trouvent toujours à proximité immédiate dans ce système de cultures associées.

L'association peut aussi se faire avec une plante qui n'est pas cultivée pour elle-même mais uniquement pour certaines propriétés qui lui sont propres. Ainsi on pourra associer à la culture des plants de géraniums, de citronnelles (plantes répulsives pour les insectes) ou de tagètes (plantes nématicides). Actuellement des essais sont réalisés à large échelle en Grande Bretagne dans des cultures de pommes de terre en association avec des soucis qui sont intercalés afin d'éviter la dissémination des nématodes à kystes. L'arachide peut également servir exclusivement de plante piège pour certaines espèces de nématodes avant le repiquage de la tomate.

e) La fertilisation et les amendements

Une plante vigoureuse sera plus résistante à l'égard des maladies qu'une plante chétive. Il importe donc de bien fertiliser les cultures non seulement pour augmenter leur rendement mais aussi pour préserver leur état sanitaire. Outre une augmentation des moyens de défense, on notera aussi chez les plantes convenablement fertilisées une meilleure faculté de récupération après un problème phytosanitaire (développement de nouvelles feuilles après ajout d'engrais azoté chez le poivron atteint d'oïdium). Enfin, une mauvaise fertilisation peut aussi être à l'origine de problèmes liés à certaines carences ou imputables à des parasites de faiblesse.

La fertilisation devra, être bien équilibrée sans quoi, c'est au contraire un affaiblissement de la plante que l'on peut provoquer. Une surfertilisation azotée sera souvent préjudiciable à la plante en la rendant plus attirante pour les parasites. Ce sera le cas, par exemple, pour des acariens qui vont tirer parti du développement d'un feuillage plus tendre.

Afin d'éviter des apports d'éléments fertilisants inutiles ou insuffisants il convient d'effectuer régulièrement des analyses du sol cultivé et de demander l'avis de spécialiste sur les fertilisations à effectuer.

En horticulture, la fertilisation devrait être, pour une bonne part, d'origine organique. Cela permettrait déjà un meilleur équilibre en éléments fertilisants et une libération progressive de l'azote. En outre, l'augmentation de la teneur en matière organique du sol contribuera à augmenter sa capacité d'absorption d'eau, sa structure et donc son aération, son pouvoir tampon et mobilisateur d'éléments minéraux. Il en résultera également une plus grande activité et diversité microbiologiques, y compris au niveau de la microflore antagoniste qui contribuera

à contrôler les agents de maladies du sol ainsi que les nématodes phytophages. Par exemple des doses de 100 t/ha de matière avant chaque cycle cultural au Maroc.

Si la fumure organique peut avoir une influence favorable sur le développement des plantes et la prévention des problèmes phytosanitaires, il faut toutefois veiller à n'utiliser que du fumier ou du compost de très bonne qualité, c'est à dire bien décomposé sinon on risque, au contraire, d'enrichir le sol en semences de mauvaises herbes et en germes pathogènes divers. Dans le cas du compostage il faudra donc veiller à ce que la maturation du matériau soit bien réalisée (température élevée atteinte dans la masse, nécessité de retourner les tas de compost pour obtenir une qualité constante). En outre, l'apport de fumier frais en surface favorise *Sclerotium rolfsii*, ce qui n'est pas le cas si le fertilisant est enfoui ou appliqué en apport fractionné (en cas de fertilisation chimique).

En cultures maraîchères, il est possible d'utiliser des gadoues ayant comme origine des ordures ménagères qui sont riches en éléments fertilisants. Il peut être recommandable d'utiliser celles-ci à un stade de décomposition peu avancé (pour éviter les pertes en éléments nutritifs et économiser la main d'oeuvre), auquel cas l'amendement sera convenablement enfoui dans le sol. Pour des raisons hygiéniques, il est plus prudent de n'utiliser ce matériau qu'après compostage (à condition que le compostage puisse être réalisé dans des bonnes conditions). Par ailleurs, il y a lieu de s'interroger sur les possibilités de contamination de ces gadoues par des polluants divers : il est en effet bien connu que les teneurs en métaux lourds peuvent dans certains complexes urbains atteindre des valeurs trop élevées. La prudence exige donc de trier les ordures ménagères avant compostage et d'effectuer des analyses chimiques complètes de ces gadoues. D'autre part il faut vérifier la salinité des gadoues qui y est souvent très élevée.

D'autres amendements peuvent être nécessaires. On pense bien évidemment aux amendements calcaires qui permettront de corriger l'acidité du sol après quelques années de mise en culture, acidité qui peut être préjudiciable à la bonne vigueur de certaines espèces et qui peut aussi favoriser le développement de certaines maladies comme la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*). En revanche un pH excessivement haut peut provoquer l'immobilisation des oligo-éléments et provoquer des carences que l'on appelle induites dans ce cas.

f) Le désherbage

Tout le monde connaît l'importance de la pratique du désherbage tant pour son impact phytotechnique (élimination de plants concurrents pour la lumière, l'eau, les nutriments) que phytosanitaire (réservoir pour divers ravageurs des cultures qu'ils soient insectes, champignons, bactéries ou virus). On estime que les pertes de récolte imputables aux mauvaises herbes sont de l'ordre de 25 % en moyenne, voire 50 à 80 % pour les cultures vivrières.

Et pourtant, certains pensent que ces mauvaises herbes ont un rôle écologique à jouer (refuge pour insectes utiles, par exemple) et l'on sait qu'en viticulture, par exemple, il existe deux écoles : celle qui prône un désherbage total (sol nu) et celle qui prône l'utilisation d'un couvert végétal entre les lignes de plantation. Il ne faut, toutefois, pas confondre couvert végétal et mauvaises herbes. En grandes cultures et en horticulture également, on a parfois recours à ces couverts végétaux, que ce soit dans la technique du semis direct ou même dans certaines formes d'associations de cultures. Il est clair que ces couverts végétaux ont leur intérêt mais qu'il ne faut pas pour autant prôner un développement anarchique de toute espèce végétale. En outre, il faut se méfier des idées reçues comme, par exemple, celle qui veut que la présence d'un refuge est indispensable à la propagation des insectes utiles. En Hollande, il a été montré scientifiquement que le maintien d'une flore diversifiée



dans les vergers n'avait pas d'impact sur l'activité des ennemis naturels présents dans cet écosystème. Néanmoins, certaines plantes peuvent être sauvegardées voire implantées à cause de leur importance reconnue (plantes nématicides, insectifuges, refuges pour auxiliaires, etc...)

Le maintien d'une parcelle propre ne se fait pas seulement par le biais des diverses techniques de désherbage. On a vu que la préparation du sol, le recours à des rotations judicieuses sont autant de pratiques qui permettent d'empêcher la propagation exagérée des mauvaises herbes.

En cultures maraîchères le désherbage manuel ou mécanique reste la technique la plus adaptée aux cultures principales. Il est, en effet, nécessaire de passer souvent dans la culture pour l'entretien. Le désherbage peut se faire par la même occasion. En outre des opérations comme l'irrigation à la raie, le démariage des semis trop denses, le sarclage pour l'aération des sols, le buttage sont autant de techniques culturales qui s'associent *de facto* au désherbage de la parcelle.

Des mesures préventives peuvent et doivent être prises surtout pour enrayer le développement d'adventices profitant de la mise en culture des parcelles (*Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Imperata cylindrica*). Il faut mentionner aussi l'importance de la qualité des semences (absence de contaminants), de l'eau d'irrigation (entretien des canaux), du fumier et du compost (qui doivent être bien décomposés).

Le paillage est également un excellent moyen de lutte contre les mauvaises herbes. Il peut se réaliser avec des matériaux organiques divers comme la paille, morceaux d'écorces et broussailles ou avec des films plastiques placés entre les lignes de cultures ou même sur la ligne (avec des trous à l'emplacement des plants cultivés).

Le brûlis et l'inondation (en combinaison éventuelle avec un désherbage chimique après la levée des adventices) peuvent être opérés avant la mise en place de la culture car ces deux techniques peuvent réduire le stock semencier du sol dans des proportions considérables tout en ayant un impact favorable sur d'autres aspects de la protection phytosanitaire (nématodes, agents de maladies présents dans le sol).

Pour détruire des plantes vivaces, on peut aussi réaliser un pré-traitement de la parcelle quelques semaines avant l'installation la culture avec des produits comme l'aminotriazole et le glyphosate. Cette dernière molécule est particulièrement inoffensive tant pour les utilisateurs que pour l'environnement. Il est en effet très rapidement dégradé après être entrée en contact avec le sol et perd ainsi tout effet résiduaire. Elle est, par contre, très efficace lorsqu'elle entre en contact avec les parties aériennes des plantes surtout lorsque celles-ci se trouvent en conditions poussantes. Le produit agit par systémie ascendante et descendante : il est rapidement absorbé et mis à l'abri d'un éventuel lessivage qui résulterait de la pluie ou de l'irrigation; il agit en outre sur les organes souterrains des plantes, organes qui sont généralement hors de portée de la plupart des herbicides conventionnels. Les cultures de pomme de terre et de patates douces sont connues pour leur effet nettoyant (en partie, à cause des pratiques culturales et de désherbage que ces cultures requièrent). Quant à certaines variétés de niébé, leur développement est tel qu'il étouffe rapidement les adventices.

La rotation aussi joue un rôle important. Ainsi l'introduction d'une espèce fourragère qui sera pâturée ou fauchée régulièrement contribuera à l'étouffement d'espèces pérennes et l'épuisement d'espèces annuelles. Celles-ci, en effet, se verront dans l'impossibilité de fleurir et de se reproduire. On connaît également le rôle de la rotation pour le contrôle d'hémiparasites comme *Striga* : ceux-ci se développent et se reproduisent sur quantités de céréales mais ne peuvent fleurir sur certaines légumineuses comme les arachides, doliques et soja.

Dans la rotation, des herbicides comme le glyphosate peuvent être utilisés pour détruire certaines plantes vivaces ainsi que les repousses des cultures précédentes qu'il est nécessaire d'éliminer si l'on veut bénéficier des effets assainissants de la rotation (lutte contre les nématodes). A cette fin, on peut avoir recours à des petits instruments utiles pour l'application localisée du produit comme l'applicateur individuel permettant de déposer quelques gouttes de produit sur les plantes indésirables ou le «gant magique» qui a le même rôle mais qui fonctionne sur le principe des mèches imbibées de solutions liquides.

On peut aussi utiliser d'autres herbicides non sélectifs à condition de les appliquer avant la levée de la culture (destruction de l'ensemble des mauvaises herbes à germination rapide). Ceci est possible à condition que le produit n'ait pas d'effets résiduels dans le sol. C'est notamment le cas avec le paraquat car ce produit s'adsorbe irréversiblement aux colloïdes du sol. Par contre, ce produit est très toxique et il est indispensable que l'utilisateur prenne toutes les précautions qui s'imposent.

Autre exemple : application 3 semaines avant semis ou peu avant le repiquage en préirrigation de trifluraline, un herbicide anti-germinatif sur un sol propre et maintenu humide. Cela permet d'éliminer une très grosse partie du stock de semences d'adventices dans le sol.

Une autre façon d'utiliser les herbicides non sélectifs est le recours à des caches sur le pulvérisateur de façon à orienter la projection du liquide de pulvérisation sur les seules mauvaises herbes (désherbage entre les rangs, bordures, etc...). Ici aussi on privilégiera les herbicides peu toxiques du type glyphosate. Ces méthodes d'intervention sont précieuses car à l'inverse des plantes annuelles, de nombreuses plantes vivaces peuvent tirer avantage du travail du sol (meilleure aération) et envahir les parcelles d'une façon difficilement contrôlable.

Certaines cultures peuvent, lorsque le contexte technique, social et économique s'y prête, être désherbées chimiquement à l'aide d'herbicides sélectifs. Par exemple : l'oignon dans la vallée du Fleuve Sénégal avec l'utilisation régulière de Ronstar (oxadiazon) avec de bons résultats. Le désherbage chimique ne sera jamais considéré comme étant l'unique méthode de lutte mais sera un complément utile aux autres techniques parmi lesquelles le travail du sol se trouvera en bonne position.

On trouvera dans l'annexe traitant de la lutte chimique quelques exemples d'herbicides sélectifs utilisables dans les cultures les plus communes avec un aperçu de leur profil écotoxicologique. On ne perdra pas de vue, cependant, que même si très peu d'herbicides sont toxiques, un grand nombre peuvent être des polluants pour les eaux superficielles et même pour les eaux souterraines. Il faut donc veiller à respecter les règles élémentaires qui sont de rigueur pour une bonne application de la lutte chimique et éviter tout surdosage qui serait d'ailleurs préjudiciable, en tout premier lieu, à la culture elle-même. Il faudra donc absolument veiller à travailler avec un matériel de traitement adapté, parfaitement entretenu et bien calibré de façon à pouvoir appliquer la dose exacte au bon endroit.



Annexe 3 – La lutte par des moyens physiques

Différents moyens mécaniques et traitements physiques sont utilisables dans les systèmes de productions de légumes. Nombre d'entre eux ont déjà été évoqués dans le paragraphe décrivant les pratiques culturales (écrans de protection à l'aide de filets tissés ou voiles non tissés, travail du sol, désherbage manuel, brûlis,) et nous n'y reviendrons plus ici. On se focalisera plutôt sur des moyens de lutte plus spécifiques de par leur conception ou visant des ennemis des cultures non encore abordés précédemment.

a) La lutte mécanique

De nombreux pièges élaborés afin de capturer les ravageurs des cultures sont conçus sur des principes mécaniques pour ce qui concerne la destruction ou l'immobilisation du ravageur, bien qu'il y ait toujours présence de stimuli (attractifs sexuels, signaux visuels ou olfactifs) qui se basent sur le psychisme ou le comportement de la proie. Notons tout particulièrement l'importance de la glu tant au niveau de pièges pour rongeurs que pour insectes. Ainsi, en cultures sous abri, on peut utiliser des panneaux jaunes de 20 cm de diamètre recouverts de glu et servant à capturer en masse les aleurodes, voire les adultes de mouches mineuses. Ces panneaux sont disposés à raison d'une unité pour 5 à 7 m² à hauteur des plants de tomates. Pour augmenter l'efficacité du piégeage, il faut remonter ces panneaux au fur et à mesure de la croissance de la culture car le vol des aleurodes s'effectue sur des petites distances. En outre, il faut régulièrement passer dans la culture et provoquer l'envol en bougeant les plantes (lors de la taille, de la cueillette, etc...). Des panneaux similaires de couleur bleue conviennent pour la capture des Thrips (*Frankliniella occidentalis* et autres espèces).

Bien souvent, des pièges rudimentaires peuvent s'avérer très utiles pour collecter les insectes et les dénombrer (dans le cadre de réseaux de surveillance et d'avertissement). Ainsi, pour capturer les insectes du sol, il suffit de disposer des coupoles dans le sol, partiellement remplies d'une solution de formol à 1 % de façon à piéger les individus qui y tombent.

Cette technique de la boîte de conserves enterrée est utilisée pour capturer la courtilière (*Cryllotalpa africana*) qui peut faire de gros dégâts en culture de pomme de terre et de tomates.

Mais la lutte mécanique ne se réalise pas qu'au moyen de pièges. Outre l'utilisation de filets et de voiles tissés déjà évoquée précédemment, il faut mentionner aussi les protections physiques assurées par les différentes techniques de paillage. Autre forme de lutte mécanique l'emballage des fruits de cucurbitacées dans du papier journal ou dans des sachets de papier pour les protéger contre les attaques des mouches du fruit, technique recommandée au Burkina Faso, par exemple.

b) La lutte physique

Le facteur acoustique a été exploité dans la lutte contre les oiseaux. Dans un premier temps, il s'agissait surtout d'effrayer les oiseaux par toutes sortes de bruits (cris, percussions à l'aide d'objets métalliques, canons à gaz pour chasser pigeons, étourneaux, corbeaux, ...), mais par la suite ces méthodes se sont rapidement affinées en combinant à ce moyen de lutte purement physique une composante



psychique. On sait, en effet, que des oiseaux ravageurs émettent un cri de détresse lorsqu'ils sont attaqués (par un rapace, par exemple). Les méthodes d'effarouchement acoustique reposent donc sur la diffusion d'un message sonore qui ne sera pas nécessairement intense mais plutôt porteur d'une sémantique bien précise. Si ce message est correctement interprété par la cible, il provoquera son départ.

Annexe 4 – La lutte biotechnique

Les méthodes de lutte biotechnique reposent sur l'utilisation de techniques diverses exploitant certains aspects du comportement des insectes que l'on cherche à influencer à l'aide d'artifices relativement sophistiqués. Pour ce faire on aura recours, entre autres, aux phéromones, substances naturelles (ou analogues de synthèse) qui servent à la communication entre individus de la même espèce. La plupart du temps ces techniques servent à capturer les ennemis afin d'en estimer le niveau de population. La connaissance de ces niveaux permet de déclencher les traitements en temps utile.

a) Les méthodes psychiques

Ici on vise à modifier ou guider le comportement du ravageur de façon à le piéger. Il a déjà été fait mention du fait que la couleur jaune était susceptible d'attirer des insectes au comportement rudimentaire et incapable de réaliser une interprétation plus fine des différents stimuli émanant de leur environnement (c'est le cas des pucerons, par exemple).

De nombreux insectes aériens peuvent être capturés en vol par des pièges combinant un dispositif d'attraction (lumière, couleur, attractif alimentaire ou phéromones...) et le dispositif de piégeage proprement dit (liquide, glu, grille d'électrocution). Il va de soi que les insectes ciblés sont influençables dans leur comportement par l'émission de ces stimuli. Les plus raffinés de ceux-ci sont à coup sûr les phéromones de rapprochement des sexes ou d'agrégation que l'on peut synthétiser chimiquement et utiliser en vue du piégeage (réseau de surveillance et d'avertissement). Il existe de nombreux exemples d'application chez les lépidoptères (Tableau V.1). Ainsi, on utilise les pièges à phéromones pour détecter le seuil d'intervention dans la lutte contre le carpocapse dans les vergers, notamment en Tunisie.

TABLEAU 1

Exemples de ravageurs des cultures maraîchères pouvant être capturés à l'aide de phéromones.

Noctuelles terricoles	<i>Agrotis ipsilon</i> , <i>A. segetum</i> , <i>Spodoptera littoralis</i> ,...
Mouche du melon	<i>Dacus cucurbitae</i>
Noctuelle de la tomate	<i>Helicoverpa armigera</i>
Noctuelle du chou	<i>Mamestra brassicae</i>
Chenille arpentuse du chou	<i>Trichoplusia ni</i>
Teigne des crucifères	<i>Plutella xylostella</i>
Teigne de la pomme de terre	<i>Phthorimaea operculella</i>

Pour la mouche des fruits (cératite) des phéromones sont disponibles mais le piégeage est également réalisable à l'aide d'attractifs alimentaires, comme l'hydrolysate de protéines, disposés dans des gobe-mouches.

b) La méthode de confusion sexuelle

Il s'agit, en fait, d'une forme particulière de lutte psychique basée elle aussi sur l'utilisation de phéromones. Dans ce cas, on va tirer profit du fait que ces substances volatiles qui sont normalement émises par la femelle vierge des insectes



sont capables d'attirer les mâles à très grande distance. On disposera donc dans le secteur à protéger de nombreux diffuseurs contenant la phéromone en question. L'atmosphère sera saturée de signaux sexuels venant d'un peu partout à la fois et les mâles seront incapables de repérer les femelles pour les féconder. Pour les besoins de la protection des végétaux, on dispose actuellement des phéromones de très nombreux lépidoptères (+/- 80 espèces), de nombreux coléoptères et de plusieurs espèces de mouches.

On peut citer deux exemples d'utilisation de la méthode par confusion sexuelle à large échelle (sur plusieurs milliers d'hectare). Le premier, dans la lutte contre le ver rose du cotonnier (*Pectinophora gossypiella*) aux USA et en Egypte au moyen de la gossyplure et le second dans la lutte contre la tordeuse de la grappe ou Cochyliis, en viticulture (France, Allemagne) au moyen de Z-9-DDA. En culture fruitière également des applications ont été tentées contre le carpocapse des pommes et des poires, et la Tordeuse orientale du pêcher. Des tentatives sont également en cours en culture maraîchères sur la teigne des crucifères.

Typiquement, une dizaine à une bonne centaine de grammes de phéromones sont nécessaires pour la protection d'un hectare de culture et ils seront répartis sur des diffuseurs en matière plastique (2 par m² en coton mais seulement 5 par 100 m² en viticulture). Ces diffuseurs peuvent être appliqués manuellement mais aussi par voie aérienne (traitement par hélicoptère).

Néanmoins les résultats ne sont pas toujours satisfaisants et, lorsque la pression exercée par le ravageur est importante, des recours aux insecticides sont encore nécessaires. La raison principale du succès limité observé à ce jour peut être attribuée au fait qu'il existe de nombreux facteurs de perturbation impossibles à maîtriser. On épinglera plus particulièrement une sérieuse contrainte due au fait que tous les agriculteurs d'une région sont tenus d'appliquer cette méthode pour augmenter les chances de succès.

Annexe 5 – Méthodes de lutte mixtes

On évoquera ici quelques méthodes à la frontière entre méthodes physique, biologique ou chimique, d'une part, et psychique, d'autre part. Ce sont des méthodes visant à appâter ou attirer les ravageurs et puis de les détruire de façon sélective.

a) L'utilisation d'appâts empoisonnés

Les appâts empoisonnés destinés à la destruction de certains insectes, comme les larves de noctuelles, de mollusques, de rongeurs contiennent, d'une part, un attractif alimentaire (son, farine, paraffine, ...) et, d'autre part, de substances chimiques ou biologiques destinées à détruire l'organisme appâté. Ces appâts sont généralement constitués pour leur quasi-totalité de l'aliment préféré de la cible dont on manipule donc bel et bien le comportement en vue de sa destruction. Dans la mesure où des précautions sont prises visant à s'assurer que seul le ravageur soit victime de ces moyens de contrôle, on ne peut qu'encourager cette forme de lutte très sélective pour la faune non ciblée et particulièrement inoffensive pour l'environnement en général.

Un inconvénient majeur de ces méthodes basées, au moins en partie, sur le comportement de la proie est l'accoutumance. Celle-ci peut se manifester très rapidement si les stimuli sont du type visuels (cas des leurres ou épouvantails). Des risques importants apparaissent également, dans l'utilisation des appâts empoisonnés, lorsque le ravageur bénéficie d'une organisation sociale élaborée. Ainsi les fourmis et les termites sont difficiles à détruire car elles sont capables d'établir un lien entre la présence d'un appât empoisonné et la destruction d'une partie des individus de la collectivité. Même problème chez certains rongeurs comme les rats, où il a fallu attendre la mise au point de poisons du type anticoagulant (avec effet postposé dans le temps) pour qu'il n'y ait plus systématiquement abandon des appâts après intoxication des premiers individus.

b) Les autres méthodes

Une variante moderne du piégeage massif se réalise avec des hormones d'agrégation qui se sont révélées intéressantes notamment dans la lutte contre le bostryche typographe (*Ips typographus*, coléoptère) dont plus de 4 milliards d'individus ont été capturés en Europe de Nord en 1980 à l'aide 600 000 pièges en forme de tube ou de boîte.

Un autre type de phéromone est expérimenté dans la lutte contre les pucerons. Il s'agit d'une phéromone d'alarme (l'(E)-béta-farnésène) qui provoque l'envol des pucerons, ou du moins augmente leur mobilité. Ceci pourrait contribuer à augmenter l'efficacité de produits chimiques de contact qui autrement n'atteignent pas leur cible mais aussi de préparations biologiques à base de *Verticillium lecanii* par augmentation de la proportion de spores venant se fixer sur les parois cuticulaires des pucerons (voir lutte microbiologique contre les insectes).

Un des derniers raffinements en matière de contrôle à base d'appâts pourrait être le système développé récemment par Biosys (USA) pour la destruction des



cafards. Ce procédé allie l'appâtage des cafards (milieu humide), la lutte biologique (contamination des cafards par des nématodes vecteur d'une bactérie pathogène pour ceux-ci), l'absence d'accoutumance (le cafard ne sera infecté et détruit que bien après son contact avec le nématode) et l'innocuité (le nématode et la bactérie sont inoffensifs à l'égard des humains ou animaux domestiques).

Annexe 6 – La lutte biologique

La lutte biologique contre les déprédateurs animaux peut être de deux types : la lutte biologique naturelle (encore appelée lutte biologique indirecte), les lâchers d'auxiliaires en vue de l'acclimatation ainsi que les lâchers inondatifs saisonniers qui constituent ce que l'on appelle aussi la lutte biologique directe. Dans tous les cas, l'auxiliaire utilisé est un organisme appartenant généralement à la classe des insectes ou des arachnides.

a) Lutte naturelle

Dans les systèmes culturaux intensifs, le court-circuitage des processus naturels est compensé par le recours à des intrants. Ceux-ci, comme les engrais et pesticides, sont censés combler d'importantes lacunes résultant, entre autres, du non-recyclage des nutriments et de la perturbation des équilibres de populations. On peut, dès lors, être tenté de recréer des agro-écosystèmes dont le fonctionnement se rapproche des écosystèmes naturels. Un des principes de base pour l'obtention d'une biocénose stable repose sur la diversité de l'environnement végétal et de ses effets sur les populations d'insectes phytophages ainsi que sur leurs antagonistes.

De nombreuses méthodes permettent d'améliorer le potentiel antagoniste des prédateurs et parasitoïdes mais la suppression des traitements chimiques d'assurance constitue un des meilleurs moyens pour rétablir les équilibres naturels. En effet, un traitement chimique classique détruira beaucoup plus d'auxiliaires et d'insectes décomposeurs de la matière organique que de ravageurs des cultures. Vu sous cet angle, les insecticides occasionnent plus de dégâts qu'ils ne permettent d'en éviter. La suppression ou la limitation stricte des traitements insecticides va donc contribuer à la création d'un environnement favorable au maintien d'auxiliaires de natures diverses.

Ainsi, on a pu remarquer que la substitution de méthodes de lutte biologique à des traitements chimiques aura, à terme, une influence positive sur la présence spontanée de quantités d'auxiliaires dans ce système de culture. C'est ce que l'on a pu remarquer en Europe en culture de légumes sous serre : dans les exploitations pratiquant la lutte intégrée on retrouve des parasitoïdes divers (guêpes) ainsi que des chrysopes, des coléoptères, des capsides et des cécidomyies, tous prédateurs de pucerons et acariens divers.

Quantités d'autres opérations sont envisageables pour favoriser le développement des auxiliaires, comme le maintien de haies entre les parcelles, l'installation d'abris au sein des cultures, l'association de plantes cultivées,... Ainsi, il a été montré au Mexique que l'association de trois plantes cultivées (maïs, fève et courge), association qui se pratique traditionnellement dans ce pays, est nettement plus bénéfique pour divers auxiliaires qu'une monoculture de maïs.

b) Acclimations d'auxiliaires et lâchers inondatifs

Dans le registre des acclimations réussies il faut citer l'exemple de *Cales noacki*, un hyménoptère originaire du Chili qui s'est montré extrêmement efficace contre la mouche blanche des agrumes dans le bassin méditerranéen. L'acclimatation peut constituer la solution idéale lorsque l'on est confronté à un ravageur importé, et pour lequel il n'existe aucun ennemi naturel qui puisse s'opposer à son extension dans son nouveau territoire. Pour les ravageurs indigènes, il n'y a généralement pas de solution miracle, mais, par des lâchers inondatifs, on peut tenter de ré-équilibrer



momentanément (ou dans les meilleurs cas pour l'ensemble de la saison culturale) les rapports entre le nombre de ravageurs et leurs ennemis naturels. On donnera ci-dessous quelques exemples d'organismes (nématodes, insectes et acariens) pouvant se prêter à cette technique de lutte biologique dans le domaine des cultures horticoles.

Certains nématodes entomopathogènes des genres *Steirnernema* et *Heterorhabditis* se sont montrés particulièrement utiles comme agents de contrôle biologique. Lorsqu'ils sont au stade larvaire, ces nématodes peuvent pénétrer dans le corps des insectes et y libérer des bactéries (du genre *Xenorhabdus*) qu'ils véhiculent et qui seront fatales à l'hôte (induction de septicémie). Si l'environnement est humide, le nématode au stade larvaire peut subsister longtemps tout en gardant son potentiel infectieux. Il s'agira donc d'un moyen de lutte particulièrement adapté aux insectes du sol. Actuellement le domaine d'application le plus important concerne les larves d'otiorhines (*Otiorhynchus sp.*). Des possibilités existent dans la lutte contre les hannetons (*Melolontha*) en cultures ornementales mais de nombreux autres insectes pourraient également être contrôlés. Cependant la production de grandes quantités de nématodes à des fins commerciales pose encore des problèmes à l'heure actuelle. En outre, on peut se poser la question de savoir si les insectes utiles ou non ciblés seront épargnés par ces agents.

Parmi les insectes utiles ou sélectionnés comme agents de lutte biologique, on distingue, d'une part, les prédateurs qui se nourrissent de leur proie, comme dans le cas de nombreux acariens qui seront évoqués ci-dessous, et, d'autre part les parasites qui vivent aux dépens de leur hôte. En fait ce sont souvent des parasitoïdes, c'est à dire des organismes qui pondent leurs oeufs dans le corps de leur hôte provoquant la mort de cet hôte par suite de leur propre développement.

Phytoseiulus persimilis est une de ces nombreuses espèces d'acariens prédateurs spécialisée en acariens phytophages, en l'occurrence l'araignée rouge *Tetranychus urticae*, et constitue un des «classiques» en lutte biologique en cultures sous serre. Ce prédateur localise facilement sa proie et est capable, en un jour, d'en dévorer 5 individus adultes ou 20 aux stades jeunes. Par contre, il faut savoir que ce prédateur vide son territoire de toutes proies, ce qui le condamne à disparaître par la suite, vu qu'il ne peut s'accommoder d'autres sources de nourriture. D'autre part son développement correct nécessite une température d'au moins 18 °C et une humidité relative élevée.

Le genre *Amblyseius* présente des candidats intéressants pour la lutte contre les thrips (*Thrips tabaci*, *Frankliniella occidentalis*) mais il faut débiter les lâchers très tôt dans la saison et de façon répétée.

Typhlodromus pyri est un antagoniste important de nombreux acariens et peut également se satisfaire d'autres sources de nourriture comme le pollen. En arboriculture, ce prédateur peut se maintenir grâce à sa polyphagie. Il s'agit donc d'un agent classique de lutte biologique utilisable en association avec des traitements sélectifs.

Les punaises prédatrices comprennent un grand nombre d'antagonistes naturels comme ceux du genre *Orius* et *Anthocoris* qui jouent un rôle considérable dans la régulation des ravageurs des cultures pérennes. Elles sont en passe d'être utilisées massivement (lâchers inondatifs) en culture sous serre pour compléter la lutte contre les thrips.

Il existe tout un cortège d'espèces prédatrices qui sont spécialisées, à des degrés divers, dans la lutte contre les pucerons et les cochenilles. On épinglera tout spécialement *Aphidoletes aphidimyza* et *Chrysoperla carnea*, la première espèce préférant des cultures denses et humides, et la seconde, préférant se développer sur des plants individuels. Un inconvénient avec ces prédateurs est qu'il faut attendre

relativement longtemps avant que le stade prédateur n'apparaisse (uniquement les adultes dans le premier cas et seules les larves dans le second). Il faut donc procéder à des lâchers répétés de façon à ce que les différents stades puissent cohabiter.

La coccinelle reste bien sûr l'ennemi numéro un des pucerons dans l'imagination de beaucoup de personnes sensibilisées à la lutte biologique. Il faut reconnaître cependant que, bien qu'étant très utiles, les coccinelles sont moins efficaces et plus difficiles à élever que les prédateurs sus-mentionnés.

Les parasitoïdes comprennent plusieurs genres de micro-hyménoptères qui possèdent d'exceptionnelles facultés de localisation de leur hôte. Le plus connu est assurément *Encarsia formosa*, antagoniste de l'aleurode *Trialeurodes vaporariorum* et de *Bemisia tabaci*. D'autres parasitoïdes du type ichneumon ont rejoint *E. formosa* dans les serres, ce sont *Diglyphus isaea* et *Dacnusa sibirica* particulièrement utiles pour lutter contre les mineuses. Il faut insister sur les qualités exceptionnelles de ces parasitoïdes capables de retrouver leur hôte même à l'intérieur de tissus végétaux !

Les *Trichogrammes* sont spécialisés dans le parasitisme des oeufs de lépidoptères. Leur avantage est de ne pas être trop spécifiques, d'être cultivables aisément et d'être applicables au moyens de cartons ou de capsules. Leur utilisation contre la pyrale du maïs est assez généralisée bien que difficilement compétitive avec les applications de produits chimiques. Il n'empêche qu'en termes d'hectares traités, il s'agit probablement d'un record en matière de lutte biologique faisant intervenir des lâchers massifs d'insectes utiles.

Le tableau V.2 permet de se faire une idée sur l'expansion récente prise par ces agents de lutte biologique principalement en lâchers inondatifs dans les cultures sous serres et en culture de maïs.

TABLEAU 1

Surfaces (en ha) protégées à l'aide d'ennemis naturels (Source : Biological Crop Protection Symposium, Monheim, 24 mai 1991)

Ennemi naturel	1982	1985	1988	1990
<i>Encarsia formosa</i>	1.150	1.500	2.800	3.200
<i>Phytoseiulus persimilis</i>	1.000	1.200	2.500	2.900
<i>Amblyseius cucumeris</i>	30	140	800	1.100
<i>Aphidoletes aphidimiza</i> / <i>Aphidius matricariae</i>	5	30	75	150
<i>Dacnusa sibirica</i> / <i>Diglyphus isaea</i>	40	460	600	900
<i>Chrysoperla carnea</i>	20	100		
<i>Trichogrammes maïdis</i>	1.150	5.500	13.000	18.000
Nématodes	<10	<30	<50	

c) L'exemple du Cap-Vert

Au Cap-Vert, on a proposé une liste d'ennemis naturels pour les principaux ravageurs arthropodes des cultures légumières (Tableau 1).



TABEAU 1
Ennemis naturels des principaux ravageurs arthropodes au Cap-Vert.

Ravageur	Auxiliaire	Famille
<i>Thrips tabaci</i>	<i>Amblyseius barkeri</i>	(Acarina : Phytoseiidae)
<i>Brevicoryne brassicae</i> (Hymenoptera : Braconidae)	<i>Diaeretiella rapae</i>	(Hymenoptera : Braconidae)
<i>Myzus persicae</i>	<i>Ischiodon aegyptum</i>	(Diptera : Syrphidae)
<i>Agrotis segetum</i> (Hymenoptera : Braconidae)	<i>Aphidius colemani</i>	(Hymenoptera : Braconidae)
<i>Chrysodeixis chalcites</i>	<i>Homolobus truncoides</i>	(Hymenoptera : Braconidae)
<i>Trichogrammatoidea lutea</i>	<i>Euplectrus laphygmae</i>	(Hymenoptera : Eulophidae)
		<i>Trichoplusia ni</i>
	(Hymenoptera : Trichogrammatidae)	<i>Telenomus sp.</i>
	<i>Trichoplusia orichalcea</i>	
(Hymenoptera : Scelionidae)	<i>Drino zonata</i>	(Diptera : Tachinidae)
<i>Aleiodes sp.</i>	(Hymenoptera : Braconidae)	<i>Cotesia marginiventris</i>
(Hymenoptera : Braconidae)	<i>Trichogrammatoidea armigerae</i>	(Hymenoptera : Trichogrammatidae)
<i>Helicoverpa armigera</i>		
<i>Gonophthalmus halli</i> (Hymenoptera : Braconidae)	(Diptera : Tachinidae)	<i>Cotesia marginiventris</i>
<i>Plutella xylostella</i>	<i>Diadegma sp.</i>	(Hymenoptera : Icneumonidae)
<i>Hockeria sp.</i>	(Hymenoptera : Chalcididae)	<i>Aphanteles sp.</i>
(Hymenoptera : Braconidae)	<i>Cotesia vestalis</i>	(Hymenoptera : Braconidae)
<i>Tetrastichus sokolowkii</i>	(Hymenoptera : Eulophidae)	<i>Dirhinus anthracia</i>
	<i>Dacus frontalis</i>	
(Hymenoptera : Chalcididae)	<i>Pachycrepoideus vindemiae</i>	(Hymenoptera : Pteromalidae)

Il est important de noter que le Cap-Vert a limité de façon drastique le nombre de pesticides autorisés et que bon nombre de ceux qui sont encore tolérés sont assez sélectifs à l'égard des ennemis naturels. En outre, la disponibilité en pesticides est faible, ce qui a pour conséquence que les traitements sont plutôt inhabituels. Enfin, beaucoup de ravageurs ont été introduits sans leurs ennemis naturels, ce qui a favorisé leur propagation.

On peut donc considérer, en première approximation, que les conditions sont assez favorables au Cap-Vert pour l'introduction de méthodes de lutte biologique, en général, et pour l'acclimatation d'espèces étrangères, en particulier, puisqu'on y retrouve des ravageurs importés en l'absence de leurs ennemis naturels. Force est de constater que cette réalisation n'a pas été facile puisque de nombreux insectes provenant de huit régions différentes ont été importés et qu'après élevage, 1,4 millions d'individus appartenant à 23 espèces différentes ont été lâchés. En définitive, 5 espèces se sont, dans un premier temps, établies au Cap-Vert et, parmi celles-ci, on mentionnait deux parasitoïdes importants de la teigne du chou, à savoir *Cotesia vestalis* et *Tetrastichus sokolowskii*, tous deux importés de Trinidad. En définitive, le succès est très mitigé car il est difficile de savoir si les deux auxiliaires jouent un rôle quelconque sur la régulation des populations de la teigne, cette dernière constituant encore et toujours un problème très important pour les maraîchers capverdiens.

d) Situation de la lutte biologique en cultures légumières africaines

Dans le cadre de l'atelier Panafricain sur les techniques de production et protection intégrées en cultures légumières Africaines qui s'est tenu à Dakar en novembre 1992, les délégués de plus de 17 pays différents ont présenté une synthèse sur l'état

de la lutte intégrée dans leur pays respectif. Le Tableau 2 permet de se faire une idée sur les réalisations connues à l'heure actuelle. Il s'agit soit d'exemples de lutte ayant fait leurs preuves au champ, soit des cas ayant montré des résultats préliminaires encourageants. Afin de développer cette méthode de lutte dans l'avenir, un grand effort de recensement des ennemis naturels doit être encore réalisé.

Il faut donc bien reconnaître que la lutte biologique en Afrique n'a pas encore démarré à grande échelle même si l'on recense d'énormes potentialités. En effet, les plus grands ravageurs des cultures légumières peuvent être combattus par des moyens de lutte biologique ou microbiologique. A l'heure actuelle seule la lutte microbiologique a réellement marqué des points avec les préparations à base de Bt. Les perspectives restent toutefois encourageantes. Ainsi, on a rapporté (Pesticides Outlook, Août 1993) qu'un ravageur important du manioc pourrait être avantageusement combattu par des préparations à base d'un virus de la granulose, préparations qui pourraient être obtenues à l'échelle du village par les maraîchers eux-mêmes.

TABLEAU 2:
Exemples de lutte biologique contre des ravageurs des cultures de légumes en Afrique

Ravageur	Ennemi naturel	Commentaires
<i>P. xylostella</i>	<i>Cotesia vestalis</i> <i>Tetrastichus sokolomskii</i>	Au cap-vert, acclimatés depuis 1984-1985
<i>P. operculella</i>	<i>Capidosoma uruguyanensis</i>	Au Zimbabwe, acclimaté dans les exploitations de production de plants de pommes de terre
<i>H. armigera</i>	<i>Charops spinatarsis</i>	En Ethiopie, observés sur les chenilles du ravageur
<i>B. tabaci</i>	<i>Trichogramma sp.</i> <i>Euplectrus laphygmae</i> <i>Encarsia intea</i>	En Tanzanie, observés comme parasites
<i>T. tabaci</i>	<i>Eretmocerus mundus</i> <i>Adonia variegata</i>	des aleurodes En Ethiopie, observés sur les thrips en culture d'oignon.
<i>L. trifolii</i>	<i>Orius sp.</i> parasitoïdes indigènes	Au Sénégal, certains lâchers ont conduit au
<i>Dacus sp.</i>	parasitoïdes introduits <i>Opius concolor</i>	parasitisme des larves de mineuses sans pour autant avoir éliminé le ravageur (dégâts toujours observés) Ces parasites des oeufs des mouches des
	<i>Bioteres longicaudatus</i>	fruits ont été observés au Burkina Faso
<i>Tetranychus sp.</i>	<i>Typlodromus occidentalis</i>	Au Zimbabwe, des essais préliminaires ont indiqué que ce prédateur importé était plus efficace que les espèces locales <i>Amblyseius fustis</i> et <i>Iphiseius degenerans</i> .



Annexe 7 – La lutte microbiologique contre les maladies et les nématodes

a) Lutte contre les nématodes

Il n'est pas facile de combattre les nématodes en raison de leur extrême résistance, de leur grande variabilité physiologique et de leur mode de vie souterrain. Néanmoins, des méthodes biologiques ont été développées; elles sont basées sur l'utilisation de champignons qu'ils soient prédateurs, ovicides ou à spores adhésives et sur l'exploitation des endomycorhizes.

Arthrobotrys irregularis est un champignon hyphomycète capable de piéger rapidement les larves infestantes de nématodes. En 1983, le champignon fut commercialisé sous la dénomination «S350» et devait être appliqué à raison de 1,4 t/ha d'un produit vivant contenant 10^6 propagules par gramme. Les inconvénients étaient de taille car on ne pouvait rompre la chaîne du froid pour la conservation du produit. Il y eut dès lors quelques échecs car le produit se conservait mal et on ne tenait pas assez compte des caractéristiques du sol avant de l'appliquer. Le produit a subi des modifications dans sa formulation (développement d'une nouvelle forme plus déshydratée (T350) qui permet une meilleure conservation). Il se trouve actuellement sur la marché sous la dénomination commerciale «Nematus». On améliore aussi l'efficacité de la préparation par la sélection de nouvelles souches plus polyphages. Au Sénégal, des souches locales de ce champignon ont été identifiées et testées avec de bons résultats.

Les perspectives d'utilisation de champignons ovicides comme le *Verticillium chlamydosporium* ne sont pas aussi favorables que dans le cas de l'hyphomycète décrit ci-dessus. Plusieurs obstacles se dressent en effet à leur développement : protection insuffisante en cas de fortes attaques, manque de spécificité (destruction de nématodes utiles) et surtout risques de parasitisme pour les animaux à sang chaud, dont l'homme.

Pour ce qui concerne les champignons nématophages à spores adhésives, il y a lieu de citer ceux appartenant au genre *Hirsutella* qui présentent l'avantage d'être cultivables sur milieu synthétique et de pouvoir parasiter efficacement les nématodes. Cependant, les applications commerciales pour ces parasites n'existent pas encore.

Dans le domaine des cultures horticoles, on peut signaler également les recherches sur *Pasteuria penetrans*, un actinomycète qui semble très efficace contre les *Meloidogyne*. Au Zimbabwe, des préparations ont été testées en culture de tomates et d'autres légumes et il semble que les premiers résultats obtenus soient encourageants. Au Sénégal, on teste également des préparations de ce type dans l'espoir de pouvoir les introduire dans la motte de semis (traitement en pépinière plus économique et mieux maîtrisé).

Les mycorrhizes, enfin, présentent quelques perspectives intéressantes d'utilisation. Ces champignons sont associés aux racines des végétaux et participent à la nutrition minérale ainsi qu'à la protection de la plante contre les nématodes. Ainsi, *Glomus mosseae*, inoculé à la tomate ou à d'autres légumes réduirait les attaques de divers nématodes dont les *Meloidogyne* et *Rotylenchulus* de 17 à 40 %. Pour



l'instant, cependant, on ne connaît pas encore grand chose sur ces relations plante-champignon et les projets d'applications pratiques ne sont pas assez avancés que pour envisager des développements à grande échelle.

b) Lutte contre les maladies du sol

Dans le sol, l'utilisation de champignons utiles est plus difficile à exploiter pour la lutte contre les champignons pathogènes que pour la lutte contre les insectes pour la raison bien simple que les insectes se déplacent et peuvent entrer facilement en contact avec le champignon inoculé alors que le champignon phytopathogène ne se déplace pas ou peu. Il faut donc appliquer l'agent de lutte en dose massive et le répartir de façon très homogène dans la couche de sol à protéger. C'est ainsi que des doses d'applications de plusieurs milliers de kg par hectare ne sont pas rares et il en est de même lorsque ce sont des substrats (comme la chitine) qui sont appliqués pour favoriser le développement des champignons bénéfiques.

En outre les caractéristiques intrinsèques de chaque type de sol doivent être prises en considération, et tout particulièrement, le pH, la température, la composition en éléments minéraux et organiques. Par ailleurs, et ceci est valable pour toutes les formes de lutte y compris la lutte chimique, il est plus judicieux de prendre des mesures préventives pour éviter l'installation du pathogène que d'essayer de l'enrayer lorsqu'il s'est déjà adapté à sa niche écologique. D'autre part la répétition de cultures sensible à un parasite tend à faire augmenter le nombre de germes de celui-ci dans le sol. Afin d'éviter ce phénomène il est conseillé d'effectuer des rotations, c'est à dire d'alterner dans le temps les cultures sur un même terrain.

L'avenir sera donc probablement favorable à l'utilisation de moyens de contrôle biologique appliqués de façon ciblée (en traitement des semences et en pralinage des plants transplantés) et de façon plus ou moins préventive, c'est à dire quand le potentiel infectieux du sol est encore faible.

Comme exemple d'organismes intéressants, on citera les *Fusarium* non pathogènes qui entrent en compétition avec les pathogènes pour l'occupation de la même niche (voir le paragraphe sur traitement du sol en cultures sous abri). Quant au *Trichoderma harzianum* ou *konigii* il sera probablement utilisé de façon plus prometteuse en traitement des semences et il existe d'ailleurs une préparation commerciale qui a été obtenue à partir d'une souche de *T. harzianum* génétiquement modifiée et qui sert à protéger les semences de diverses espèces légumières contre le *Pythium*. *T. viride* est aussi utilisable préventivement pour éviter qu'un sol désinfecté ne soit trop rapidement colonisé par des pathogènes (*Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*).

L'utilisation de mycorrhizes offre des perspectives d'avenir très intéressantes dans la mesure où elles protègent les racines des plantes colonisées contre les attaques de champignons phytopathogènes. L'inoculation peut-être réalisée en incorporant dans le sol, en même temps que les semences, des granulés contenant les propagules d'ectomycorrhizes en mélange avec des argiles. Des premières tentatives commerciales voient le jour (ex. : Nutrilink) mais les coûts sont élevés et les utilisations limitées à des cultures à très hauts revenus financiers.

Pour ce qui concerne les bactéries on peut mentionner l'intérêt porté sur les *Pseudomonas* fluorescents qui pourraient trouver des applications en grandes cultures en traitement des semences (céréales, betteraves sucrières,...). Il ne faut, cependant, pas oublier l'exemple de la souche K84 d'*Agrobacterium radiobacter* utilisée pour lutter contre l'*A. tumefaciens* responsable de la maladie du chancre bactérien. Suite à des améliorations de la souche par manipulations génétiques, cette méthode est actuellement au point. Elle avait connu, cependant, certains déboires en raison des possibilités de transfert du plasmide infectieux du pathogène vers la souche sensée apporter la protection !

En outre, récemment, on a vu apparaître sur la marché américain une préparation à base de *Bacillus subtilis* (Kodiak) qui non seulement protège diverses espèces (coton, arachides, haricots) contre les attaques de *Pythium* et *Rhizoctonia*, mais procure, en outre, un effet promoteur de croissance (meilleur développement des tissus racinaires).

Le Tableau 1 reprend quelques caractéristiques des moyens de biocontrôle envisageables pour l'avenir. Les traitements de semences prédominent et on peut remarquer que la préférence va actuellement vers l'utilisation de microorganismes caractérisés par un spectre d'activité assez étendu. On envisage même l'utilisation de mélanges d'organismes afin d'exploiter des synergies et éviter un des aléas les plus importants des agents biologiques : manque d'activité à cause de conditions physico-chimiques changeantes, biodiversité dans la nature des pathogènes, etc... Il semble bien que l'on ne tente pas d'obtenir une protection totale mais un support biologique qui, associé aux autres méthodes (phytotechniques, chimiques), permettra de réduire le niveau des dégâts. L'objectif est donc de créer un environnement défavorable au développement du pathogène mais favorable à la croissance et à la vigueur des plantes.

TABLEAU 1 :
Exemples d'agents microbiologiques utilisables pour la protection contre les maladies du sol.

Agent de contrôle	Caractéristiques
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	production d'agrocine 84 pour la lutte contre <i>A. tumefaciens</i> (arboriculture, roseraies)
<i>Serratia marcescens</i>	production de chitinase pour la lutte contre les pathogènes du sol
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	production de sidérophores, d'antibiotiques (lutte contre les pathogènes du sol, traitement des semences)
<i>Gliocladium virens</i>	production d'antibiotique (gliotoxine) contre <i>Pythium</i>
<i>Enterobacter cloacae</i>	production d'ammoniaque, fixation sur les hyphes du pathogène, inhibition du signal pour initier la germination du pathogène
<i>Sporidesmium sclerotivorum</i>	destruction des agrégats de <i>Sclerotinia minor</i> après culture.
<i>Trichoderma, Fusarium</i>	antagonismes, compétitions avec divers agents de maladies du sol (application au sol, traitement des semences).
<i>Bacillus subtilis</i>	traitement des semences de diverses espèces en protection contre les maladies de la levée
<i>Streptomyces griseoviridis</i>	protection des semences d'espèces légumières par antagonisme et production d'antibiotiques

c) Lutte contre les maladies des feuilles et des fruits

Une centaine de microorganismes par cm² vivent sur les surfaces foliaires des plantes. Ces microorganismes se nourrissent des exsudats foliaires, de poussières, de pollen et des excréments d'insectes. Ils se multiplient rapidement en conditions d'humidité favorables mais leur nombre diminue rapidement en conditions sèches et lorsque l'ensoleillement persiste (effet des rayons U.V.). La plupart de ces microorganismes n'affectent en rien le développement de la plante. Ceci explique pourquoi l'utilisation d'agents microbiologiques pour la protection contre les maladies du feuillage est malaisée. Le pathogène, en effet, peut pénétrer dans la plante et perpétuer son cycle à des endroits où il est inaccessible à l'égard d'éventuels agents de contrôle qui auraient été appliqués sur les surfaces foliaires.

Ainsi, de grands espoirs avaient été placés dans l'utilisation de *Verticillium lecanii*, champignon capable d'infecter les spores de rouilles et d'oïdium (de même que de nombreux insectes, voir ci-dessous). Dans la pratique, cependant, ces espoirs ne se sont pas vérifiés car cet agent de contrôle est trop sensible à une diminution de l'humidité ambiante. Des améliorations de la formulation sont à l'étude (addition



de sucres qui favoriseraient la croissance et la sporulation du champignon) et de sérieuses perspectives subsistent pour une utilisation en milieu tropical.

Des problèmes similaires sont rencontrés dans le cas de la lutte contre l'oïdium du concombre (*Sphaerotheca fuliginea*) grâce à l'hyperparasite *Ampelomyces quisqualis*. Les conditions de croissance optimale de ces deux microorganismes ne se rencontrent pas assez souvent dans la pratique sauf lorsque les concombres sont produits dans un environnement très humide, auquel cas la méthode serait applicable.

Signalons encore, les possibilités d'utilisation de différentes bactéries (*Pseudomonas cepacia*, *Bacillus subtilis*) et levures pour la protection des fruits après récolte contre diverses pourritures à *Botrytis* et *Penicillium*. Il est parfois préférable d'effectuer ces traitements au champ, avant la récolte, pour permettre aux agents microbiologiques de se développer en conditions (de température) favorables.

d) Autres agents permettant de renforcer les moyens de défense des plantes.

On peut retrouver sur les plantes des champignons endophytes qui excrètent des substances augmentant les réactions de défense des plantes à l'égard des phytopathogènes ou faisant fuir les insectes. Il en est de même pour des extraits de compost qui sont appliqués sur les plantes pour les protéger. En fait, la nature exacte des agents ou des substances chimiques qu'ils produisent n'est pas toujours connue et cela fait l'objet de nouvelles recherches en matière de lutte biologique. Le but ultime est d'isoler la substance chimique responsable de cette activation des moyens de défense des plantes et d'utiliser ces produits comme de nouveaux moyens de lutte chimique biorationnels.

e) Préparations fongiques entomopathogènes

Ces mycoinsecticides comprennent plusieurs espèces dont les plus importantes sont *Metarhizium anisoplae*, *Beauveria bassiana* et *Verticillium lecanii*, cette dernière espèce étant commercialisée aux Pays-bas pour la lutte contre les pucerons (Vertalec) et contre les aleurodes (Mycotal) en cultures sous serres. Les cultures abritées constituent un domaine de prédilection pour ces biopesticides en raison des possibilités qui existent, dans ces milieux fermés, de contrôler le climat (rôle essentiel de la température et de l'humidité sur la survie et l'efficacité des préparations entomopathogènes).

L'espèce *M. anisoplae* a déjà été décrite du point de vue de ses propriétés insecticides en 1878 par le prix Nobel russe Elias Metschnikoff. En fait le genre *Metarhizium* est un des plus répandus de par le monde; il est retrouvé dans le sol en de nombreux endroits. Beaucoup d'espèces y sont sensibles; ce sont principalement des coléoptères, dont l'othiorhynque de la vigne, mais cet entomopathogène, ainsi que d'autres espèces apparentées comme *M. flavoride*, est également prometteur pour la lutte contre les criquets et certains homoptères. Il existe actuellement une préparation expérimentale dénommée BIO 1020 en cours de développement chez Bayer. Les principaux avantages offerts par cette préparation sont :

- (1) absence de toxicité pour l'homme, les animaux à sang chaud et les plantes ;
- (2) pas de lessivage, d'évaporation et d'accumulation dans les chaînes trophiques
- (3) production massale possible en fermenteur et application facile au champ ;
- (4) persistance d'action étendue à une saison culturale (jusqu'à 8 mois).

Les principales limitations pour sa commercialisation à large échelle sont :

- (1) conservation limitée (en frigo !);
- (2) efficacité influencée par les facteurs biotiques et abiotiques (influence de la température !);

- (3) la mort de l'insecte n'est pas immédiate mais ne peut se produire qu'après 1 à 2 semaines car il faut attendre que les conidies fongiques germent, que l'appressorium développé pénètre dans l'insecte et que les blastospores formées se propagent dans l'haemolymph de façon à provoquer une infection systémique.

Malgré ces obstacles, il est tout à fait concevable que cet entomopathogène franchisse une nouvelle étape au niveau de la commercialisation à une plus grande échelle, le nouveau domaine d'application visé étant la protection, contre les insectes du sol, des plantes ornementales produites sous serres.

Parmi les autres espèces entomopathogènes, *Beauveria bassiana* présente également des perspectives intéressantes notamment dans la lutte contre la Pyrale du maïs.

f) Les bioinsecticides d'origine bactérienne

On aborde ici le seul domaine d'application où un produit microbien ait pu connaître un succès commercial d'une amplitude comparable à celle habituellement atteinte par les pesticides chimiques. En effet, les biopesticides ne représentaient au début des années 90 qu'un pourcent du marché des pesticides mais ils pourraient atteindre 5 à 10 % des parts de marché d'ici l'an 2000.

Bacillus thuringiensis (on utilisera l'abréviation Bt lorsque l'on vise spécifiquement la préparation insecticide) est à lui seul responsable pour 90 % du succès commercial des biopesticides; sa production annuelle approchait les 3000 t en 1992 et est estimée à 10 000 t pour l'an 2000. L'Amérique du Nord représente 57 % du marché de Bt mais l'Afrique n'est pas en reste et représente, toutes proportions gardées, un bon débouché pour ce biopesticide (de l'ordre de 10 % du marché)

B. thuringiensis doit son nom au biologiste allemand E. Berliner vivant en Thuringe, partie orientale de l'Allemagne. Ce savant découvrit en 1911 que cette bactérie parasitait la Pyrale de la farine, mais c'est un biologiste japonais, S. Ishiwata qui reconnut que cette bactérie était responsable de la maladie du ver à soie. En fait *B. thuringiensis* est naturellement présente dans les sols mais se retrouve surtout dans les silos à grains et autres endroits où les insectes sont nombreux. Ces bactéries survivent en tant que spores résistant bien à la chaleur et à la dessiccation. Lorsqu'elles sont ingérées par certains insectes comme les larves de lépidoptères, la spore germe et se multiplie. Dès qu'il y a pénurie de nourriture, il y a sporulation pour permettre à la bactérie de survivre.

L'intérêt de *B. thuringiensis* provient du fait que, lors de la sporulation, il y a production concomitante d'une endotoxine, en fait un cristal protéique. Lorsque cette pro-toxine se retrouve dans le système digestif d'un insecte à pH élevé (larves de lépidoptères, par exemple), elle est transformée par les protéases présentes en unités plus petites. C'est ainsi que sont produits les fragments toxiques qui provoqueront des altérations des cellules de la paroi intestinale, la désintégration des microvillosités et la destruction du mésenteron qui a pour fonction d'assurer une séparation entre l'intérieur du tube digestif et l'hémocèle. A partir de ce moment la larve cesse de se nourrir et les spores vont pouvoir germer grâce aux modifications physico-chimiques occasionnées. La phase de multiplication végétative démarre (septicémie) et la mort de la larve va s'ensuivre. Cette action est très spécifique car la toxicité résulte d'une interaction entre un fragment toxique et des récepteurs spécifiques de l'épithélium intestinal des insectes sensibles. C'est pourquoi, contrairement à ce qui a pu être parfois affirmé, l'acquisition de phénomènes de résistances aux Bt est possible et a été démontrée au laboratoire et au champ (en Floride, notamment, sur *Plutella xylostella*, suite à des traitements massifs avec Bt).



Il existe plusieurs souches de Bt. On les dénomme souvent sérotypes mais il n'y a pas de lien précis entre l'appartenance à un sérotype et l'activité biologique. On distingue, en outre, différentes sous-espèces qui sont, par exemple, *B. thuringiensis* ssp. *tenebrionis*, *B. thuringiensis* ssp. *aizawai* et *B. thuringiensis* ssp. *morrisoni*. Actuellement les préparations commerciales de Bt disponibles permettent de lutter contre des larves de lépidoptères, de diptères (moustiques et simulies) et de coléoptères (doryphore). Il convient d'être particulièrement vigilant lors du choix d'une préparation de Bt et de s'assurer que l'espèce que l'on désire contrôler fait bien partie du spectre d'action de la préparation en question. Ainsi, en lutte intégrée sur cultures légumières, la firme NovoNordisk, par exemple, précise explicitement que *B. thuringiensis* ssp. *aizawai* convient pour lutter contre la teigne du chou dans le Sud-Est Asiatique, alors que les produits à base de la sous espèce *kurstaki* sont recommandés pour lutter contre *Spodoptera* sp. (voir Tableau 1).

Les inconvénients majeurs de Bt proviennent du fait que le produit a une conservation limitée, une faible persistance, une action insuffisante et trop lente lorsqu'une population de ravageurs est bien établie (il vaut mieux traiter préventivement), une action nulle contre les insectes piqueurs et suceurs (pas de systémie) ou encore à l'égard des foreurs de tige. Enfin, la spécificité est telle qu'elle peut parfois poser des problèmes lorsqu'un cortège de ravageurs existe et que l'on ne dispose que d'une préparation à base de Bt pour y faire face.

TABLEAU 1:
Exemples de préparations à base de *Bacillus thuringiensis* utilisables en cultures légumières

Sous espèce de Bt	Nom commerc.	Firme	Observation
spp <i>kurstaki</i>	Bactospéine	Duphar	Convient mieux pour lutter contre <i>Helicoverpa</i> sp, <i>Spodoptera</i> sp.
	Biobit	Novo	idem
	Dipel	Abbot	idem
	Thuricide	Sandoz	idem
	MPV	Mycogen	endotoxine encapsulée (rémanence accrue)
	Delfin	Sandoz	efficacité supérieure à Thuricide
spp <i>aizawai</i>	Florbac	Novo	convient mieux pour lutter contre <i>Plutella</i>
spp <i>kurstaki</i> x <i>aizawai</i>	Agree, Turex	Ciba	spectre d'activité élargi (<i>Helicoverpa</i> + <i>Plutella</i>)
spp <i>tenebrionis</i>	Novodor	Novo	convient pour coléoptères (doryphore)

Il y a, cependant, de nouvelles perspectives d'améliorations grâce au génie génétique, qu'il fasse appel à des manipulations génétiques avec la technique de l'ADN recombinant ou qu'il se réalise suivant des processus naturels comme la conjugaison. Ainsi, il pourrait être possible d'obtenir, à partir d'une seule souche, plusieurs endotoxines, ce qui accroîtrait le spectre d'activité. On peut aussi faire produire les endotoxines par d'autres espèces bactériennes comme des *Pseudomonas* qui ne sporulent pas et dont la paroi cellulaire, après traitement approprié, peut servir d'enveloppe à l'endotoxine et prolonger sa persistance (endotoxine encapsulée produite par Mycogen). Cette technique offre l'avantage supplémentaire de produire une préparation non vivante qui est plus aisée à homologuer qu'une préparation qui contiendrait des organismes viables manipulés génétiquement. Ceci n'est pas le cas pour les autres préparations à base de Bt

génétiqumment modifié pour lesquelles des spores viables sont toujours associées à l'endotoxine. Enfin les possibilités d'incorporer dans les végétaux les gènes codant pour les diverses endotoxines font l'objet de recherches intensives qui aboutiront très prochainement à la commercialisation d'espèces végétales résistantes (voir paragraphe consacré aux plantes transgéniques).

g) Bioinsecticides d'origine virale

Les baculovirus entomopathogènes sont également d'un intérêt tout particulier pour la protection biologique des plantes à cause de leur extraordinaire spécificité. Comme pour Bt, les virus doivent d'abord être ingérés de sorte que la protéine (polyèdre) qui recouvre les acides nucléiques puisse être dissoute dans le tractus intestinal des insectes. A ce moment, les virions peuvent se fixer sur les microvillosités des cellules épithéliales des insectes qui sont sensibles à ce germe. A partir de ce moment les virions se multiplient soit à cet endroit soit, après avoir pénétré dans la cavité viscérale, dans d'autres organes. Finalement les cellules sont détruites et les particules virales libérées.

Plusieurs préparations virales ont été introduites sur le marché : on citera notamment le virus de la polyèdrose nucléaire (nuclar polyedrosis virus, NPV) de *Helicoverpa virescens*, *Spodoptera littoralis*, *Mamestra brassicae* ainsi que le virus de la granulose de *Agrotis segetum* qui intéressent directement les cultures légumières.

Ces baculovirus sont obtenus à partir d'élevages d'insectes et leur formulations subissent des améliorations afin d'accroître la résistance aux U.V. Le délai avant la mort de l'insecte est bien souvent trop long, c'est pourquoi on s'attache sérieusement à augmenter l'efficacité en ayant recours à des manipulations génétiques. Celles-ci impliquent l'introduction d'un gène toxique supplémentaire (production de neurotoxines, Bt) ou d'un gène qui perturbera le développement de l'insecte (hormone de mue, estérase le l'hormone juvénile,...). Il y a de très fortes chances que des percées spectaculaires verront le jour à moyen terme dans l'utilisation de biopesticides de ce type.

La tendance actuelle en matière d'organismes génétiquement modifiés (OGM) est d'augmenter la virulence du biopesticide de façon à accélérer la mort de l'insecte. De cette façon, le virus aura moins de chance de se multiplier, ce qui diminuerait les possibilités de dissémination de ces gènes dans l'environnement.



Annexe 8 – La lutte chimique conventionnelle et biorationnelle

En lutte chimique conventionnelle, le terme «pesticide» d'origine anglo-saxonne est très souvent utilisé. Il s'agit d'un terme générique englobant comme ses synonymes, produits phytopharmaceutiques et produits phytosanitaires, plusieurs catégories de substances, elles-mêmes également terminées par le suffixe «ide» : il s'agit des fameux herbicides, insecticides, fongicides, etc... . Ce suffixe «ide» exprime les potentialités qu'ont ces produits de «tuer» certains organismes nuisibles (les «pests» des anglophones) à savoir, les mauvaises herbes, les insectes, les champignons, etc... En français, l'emploi du terme pesticide peut conduire à des malentendus, de nombreuses personnes utilisant les termes de «peste» et donc de «pesticide» dans un sens restreint.

Les choses sont devenues encore moins précises depuis que l'on retrouve sur le marché des substances phytopharmaceutiques qui ne tuent pas les ravageurs, mais en modifie le comportement ou perturbe leur croissance. Autre ambiguïté lorsque l'on rencontre avec des produits naturels. Faut-il les considérer comme des agents de lutte chimique ou biologique ? C'est pourquoi, dans la littérature spécialisée, on établit de plus en plus une distinction entre moyens de lutte chimique conventionnels et moyens de lutte chimique biorationnels. Les premiers sont des produits obtenus par synthèse chimique et servent à tuer les organismes indésirables de façon peu sélective. Quant aux produits biorationnels, ce sont soit des produits d'origine biologique (substances végétales ou obtenues par fermentation), soit des substances de synthèse mais dont le mode d'action autorise une sélectivité particulière en raison du fait que ce n'est pas une intoxication directe de la cible qui est visée. Par contre, les biopesticides qui sont essentiellement des pesticides microbiens (et donc des produits vivants) ne sont pas classés ici mais bien avec les moyens de lutte biologique.

Les insecticides conventionnels

a) Les insecticides d'origine inorganique

Les composés inorganiques ne sont, à l'heure actuelle, plus beaucoup utilisés comme insecticides. Ces produits ont été rapidement remplacés par les produits de synthèse organique après la seconde guerre mondiale. Les produits minéraux ont des propriétés qui diffèrent sensiblement de celles des produits organiques, aussi n'est-il pas tout à fait inintéressant d'en rappeler certaines caractéristiques.

Les produits minéraux sont stables, non volatils et souvent très solubles dans l'eau. Beaucoup sont à base de mercure, de thallium, de cyanure et d'arsenic. Ce sont des poisons cumulatifs qui étaient souvent utilisés en appâts. Le fluoaluminat de sodium ou cryolite (Na_3AlF_6) retrouve un certain intérêt en lutte intégrée en tant qu'insecticide sélectif. En outre, l'acide borique et les gels de silice sont également utilisés dans des appâts contre insectes domestiques et fourmis, car ils affectent la perméabilité des cires cuticulaires avec comme conséquence la déshydratation des insectes atteints. Signalons aussi le rôle des cendres dont l'utilisation est toujours répandue dans certaines régions d'Afrique. Les cendres, lorsqu'elles sont fines et réparties uniformément sur le feuillage, peuvent avoir une action abrasive.



b) Les organochlorés (OC)

Ce sont les premiers insecticides organiques obtenus par voie de synthèse, c'est pourquoi on les appelle souvent insecticides de première génération. Le plus fameux d'entre eux, le DDT, a été utilisé en masse pour la première fois au cours de la seconde guerre mondiale (éradication du typhus, transmis par les poux, lors du débarquement des Américains à Naples). Le succès de ces produits OC a été très rapide et considérable. Il s'explique par le fait que ces insecticides peu coûteux sont caractérisés par un pouvoir insecticide élevé s'étendant à une large gamme d'insectes nuisibles en agriculture mais aussi, et surtout, à l'égard des grands vecteurs de maladies pour l'homme (divers moustiques transmettant la malaria et la fièvre jaune, la mouche tsé-tsé transmettant la maladie du sommeil, les poux transmettant la peste et le typhus, ...). Malheureusement, il s'est révélé par la suite que les OC sont dotés de nombreuses caractéristiques défavorables telles que :

- hydrophobicité et potentiel de bioaccumulation ;
- persistance trop importante ;
- manque de sélectivité et destruction des auxiliaires ;
- résistances de la part des espèces cibles.

De ce fait la plupart des OC ont été bannis dans de nombreux pays, ou du moins, leur usage s'est vu très limité.

On distingue 4 groupes d'organochlorés (ou d'hydrocarbures chlorés), à savoir, les dérivés diphénylés, les produits de chloration du benzène, les cyclodiènes et les polychloroterpènes.

Le DDT (Dichloro-Diphényl-Trichloréthylène) appartient au groupe des dérivés diphénylés. Le DDT possède une action rémanente très longue (faiblement dégradable) et, étant apolaire, il s'accumule dans les tissus gras des animaux (avec risques d'accumulation dans les chaînes trophiques). Aussi, son usage a-t-il été banni en agriculture mais il reste utilisé dans certains pays dans les programmes de contrôle sanitaire (moustiques).

D'autres composés appartiennent à ce groupe comme le méthoxychlore (déjà plus polaire) et surtout une série de composés caractérisés par d'excellentes propriétés acaricides comme, par exemple, le dicofol, le chlorobenzilate, et le bromopropylate. Il est important de noter que ces dérivés plus polaires ne sont plus considérés comme étant des OC *sensu stricto* et ne sont donc pas soumis aux interdictions évoquées ci-dessus.

L'HCH (HexaChloroHexane) est un des produits de chloration du benzène. En réalité seul l'isomère gamma de l'HCH (appelé lindane) est réellement insecticide mais l'obtention de cet isomère pur est plus coûteuse, c'est pourquoi l'usage de l'HCH est encore répandu dans certains pays. L'HCH est très odorant et imprègne facilement les tissus végétaux, animaux et même le sol, ce qui limite fortement son utilisation. Il n'en est pas de même pour le lindane (ou en tout cas, nettement moins), c'est pourquoi seul ce dernier est encore accepté dans la plupart des pays européens (traitement du sol et des semences). Le lindane (plus volatil) est aussi nettement moins persistant que le DDT (peu volatil), néanmoins étant apolaire et donc bioaccumulable dans certaines proportions, son usage est remis en question un peu partout.

Les cyclodiènes sont des composés chlorés polycycliques largement insaturés. Comme exemples de produits, on citera le chlordane, l'heptachlor et les «drines» (aldrine, dieldrine, ...). Tous ces produits souffrent des mêmes défauts que le DDT (persistance, bioaccumulation, manque de sélectivité, résistance), ils sont donc bannis ... sauf pour une exception, l'endosulfan (qui n'est d'ailleurs pas un cyclodiène *sensu stricto*, puisqu'il possède un atome de soufre oxydé, le rendant plus polaire et biodégradable. Il s'agit en outre d'un produit peu dangereux pour les abeilles.

Parmi les polychloroterpènes, on ne mentionnera que le toxaphène (en réalité un mélange de 177 produits issus de la chloration du camphène). C'est probablement l'insecticide qui fut le plus utilisé en agriculture (en coton, notamment). Bien qu'assez rapidement volatilisé des surfaces végétales traitées (rémanence de quelques semaines), il persiste longuement dans le sol et, tout comme la plupart des autres organochlorés, n'est plus autorisé à l'heure actuelle.

c) Les organophosphorés (OP)

Plusieurs groupes chimiques sont réunis dans cette famille qui forme, avec les carbamates, les insecticides de seconde génération. Comme point commun à tous les représentants des «organophosphorés» nous avons la présence d'un groupe ester phosphoré (c'est pourquoi on les appelle aussi les esters phosphorés).

La plupart des OP ont en commun les caractéristiques suivantes :

- Ils possèdent une nature plus polaire que les OC vu la présence du groupe ester (les dérivés soufrés sont comparativement moins polaires que les dérivés oxygénés).
- Les OP sont plus facilement dégradables (soit par voie chimique, soit par voie biologique; avantage aux dérivés oxygénés)
- Du fait de leur faible rémanence, des applications répétées peuvent être indispensables
- Ce sont des inhibiteurs de l'acétylcholinestérase (dérivés des gaz de combat du type tabun et sarin !), ils sont donc pour la plupart très toxiques pour l'homme, mais aussi pour la vie aquatique (poissons, daphnies,...); les dérivés plus oxygénés sont généralement les plus toxiques

Quelques exemples de composés appartenant au sous-groupe des organophosphorés aliphatiques sont donnés dans le tableau 1.

TABLEAU 1 :
Quelques exemples d'OP aliphatiques

Nom commun	Nature du groupement phosphoré	Propriétés/usages
Acéphate	phosphoramidothioate	Systemique
Methamidophos	phosphoramidothioate	Non systemique
Dicrotophos	phosphate	Systemique
Naled	phosphate	Systemique
Dichlorvos	phosphate	Volatil
Trichlorfon	phosphonate	Désinfection des locaux
Malathion	phosphorodithioate	Non Systemique
Diméthoate	phosphorodithioate	Systemique
Demeton	phosphorothioate	Systemique
Ométhoate	phosphorothioate	Systemique

Le malathion est un des représentants les plus anciens et les plus utilisés en agriculture, en conservation des denrées et en hygiène publique. Il faut dire que chez les mammifères le produit se métabolise très rapidement.

Le dichlorvos est un autre représentant très connu pour ses utilisations domestiques. On utilise notamment des formulations à libération contrôlée (type Vapona strip) qui permettent de libérer très progressivement cette matière active très volatile.

De nombreux produits, bien que possédant une toxicité aiguë importante, ont été et sont encore utilisés en horticulture vu leur faible persistance. Ils laissent, en effet, peu de résidus à la récolte. Un exemple typique est donné par le diméthoate, qui



comme de nombreux représentants du groupe possède des propriétés de systémie ascendante (pénétration dans les tissus végétaux, translocation par le xylème vers les feuilles). Il s'agit donc de produits tout à fait remarquables pour contrôler les insectes piqueurs et suceurs : ce sont donc d'excellents aphicides.

Certains de ces produits demeurent très intéressants dans le cadre de la lutte intégrée, car ils autorisent une intervention efficace de courte durée. De cette façon, il est possible de réintroduire, peu de temps après le traitement, des agents de lutte biologique qui ne survivraient pas si des insecticides plus persistants étaient employés.

Les organophosphorés phénylés forment un second sous-groupe d'OP (voir Tableau 2). Ces derniers sont généralement moins volatils (du fait de la présence d'un groupement plus volumineux) et sont donc plus persistants. L'exemple le plus fameux est celui du parathion (ethyl mais aussi méthyl) apparu dès 1947. Ce dernier fut longtemps le pesticide le plus toxique mais néanmoins fabriqué en très grandes quantités, même dans les pays peu développés, et est donc très largement utilisé !

TABLEAU 2
Quelques exemples d'OP phénylés.

Nom commun	Nature du groupement phosphoré	Propriétés/usages
Bromophos	phosphorothioate	Non systémique + sol
Parathion-Ethyl	phosphorothioate	Non Systémique
Parathion-Methyl	phosphorothioate	Non Systémique
Fenitrothion	phosphorothioate	Non Systémique
Fenthion	phosphorothioate	Non Systémique
Fonofos	phosphorodithioate	Traitement du sol
Isofenphos	phosphorothioloamidate	Traitement. du sol
Fenamiphos	phosphoroamidate	Nématicide

On notera qu'il y a ici des produits utilisés en traitement du sol (insecticide mais aussi nématicide) et en utilisation sanitaire (fenthion, fenitrothion : contrôle des moustiques).

Dans le sous-groupe de organophosphorés hétérocycliques, on trouve des composés un peu plus complexes du point de vue de la structure chimique. Ce sont souvent des composés moins volatils et plus persistants. On retrouve ici à nouveau des produits pour le traitement du sol ainsi que certains acaricides très efficaces (Tableau 3). Signalons enfin la présence d'un insecticide connu pour sa sélectivité, la phosalone, ce qui le rend particulièrement intéressant en lutte intégrée (principalement en arboriculture mais aussi dans de nombreuses autres cultures).

TABLEAU 3
Quelques exemples d'OP hétérocycliques

Nom commun	Nature du groupement phosphoré	Propriétés/usages
Diazinon	phosphorothioate	Sol et usages domestique
Chlorpyriphos	phosphorothioate	Sol et usages domestique
Methidathion	phosphorodithioate	Polyvalent en arboriculture
Phosalone	phosphorodithioate	Sélectif en arboriculture
Pirimiphos	phosphorothioate	Polyvalent

d) Les acaricides spécifiques

Il existe un groupe de dérivés diphenylés sulfurés qui présente des structures chimiques non sans rapport avec celles du dicofol et du chlorobenzilate, évoqués précédemment. On constate cette fois la présence d'un pont sulfoné (groupement polaire dégradable) qui confère aux molécules de ce groupe des propriétés acaricides

spécifiques en combinaison avec un pouvoir ovicide, propriétés fondamentales pour un bon contrôle sélectif de ces ravageurs (très recherché en lutte intégrée). Signalons en passant que le soufre lui-même possède déjà, lorsqu'il est appliqué en poudrage, certaines propriétés acaricides du moins en climat chaud (effet fumigant).

On mentionnera aussi quelques produits sélectifs agissant soit sur les seules larves, comme la propargite (Omite) soit au stade oeuf + larve mobile, comme la clofentezine (Apolo), l'hexythiazox (Nissorun) et le fenpyroximate (Naja). Ne détruisant que les acariens phytophages, les derniers produits cités sont particulièrement recommandés en lutte intégrée.

Enfin, on peut signaler les formamidines comme l'amitrazé, le chlordimeform et le formétanate qui sont des molécules surtout utilisées comme acaricide bien qu'ayant également des propriétés insecticides. Ces produits agissent notamment sur les oeufs (ovicides) et ont un mode d'action particulier (insecticides adrénérgiques), ce qui les rend tout à fait intéressants dans des programmes de lutte en cas de problèmes de résistances aux insecticides et acaricides conventionnels.

e) Les carbamates

Les carbamates insecticides possèdent des propriétés générales semblables aux OP : ce sont également des inhibiteurs de l'acétylcholinestérase.

Le plus connu des carbamates aromatiques est actuellement le carbofuran (Curater, Furadan), insecticide du sol mais il existe d'autres produits intéressants, comme le méthiocarbe (Mesuro) qui possède des propriétés molluscides et répulsives (souvent utilisé en traitement des semences). Signalons surtout le pirimicarbe (Pirimor), souvent présenté comme aphicide modèle (systémique, activité résiduelle de 1 à 2 semaines, bonne sélectivité) ainsi que l'ethiofencarbe (Croneton), bon produit systémique utilisé comme aphicide. Le carbaryl (Sevin) fut, un moment, un des insecticides les plus répandus (arboriculture, maraîchage, lutte anti-acridienne).

L'aldicarbe (Temik) est le plus connu des carbamates aliphatiques. Il s'agit d'un excellent insecticide-(acaricide)-nématocide. Le succès commercial de ce produit apparu vers les années 70 fut foudroyant ! C'est aussi le plus toxique des pesticides commercialisés et, appliqué à forte dose sur sols sableux, il risque de polluer les eaux (produit très mobile). Pour ces raisons, on tente de le remplacer, mais il n'est pas évident de trouver un produit de substitution aussi efficace contre les nématodes. Signalons aussi dans la même famille, l'oxamyl (Vydate) et le méthomyl (Lannate).

Une des façons de s'affranchir de certaines propriétés défavorables de certains carbamates, comme la trop grande mobilité et la toxicité aiguë, a été de synthétiser des précurseurs démunis de ces caractéristiques mais susceptibles de se convertir (sous l'action des micro-organismes du sol) en produit actif. C'est ainsi que toute une série de pro-pesticides du carbofuran ont vu le jour, comme, par exemple, le furathiocarbe, le benfuracarbe, le carbosulfan.

f) Les pyréthrinoïdes

Ce sont les insecticides de synthèse chimique apparus les derniers sur le marché. On les désigne aussi sous le nom d'insecticides de 3^{ème} génération. Ils ont été développés à partir des composés naturels du pyrèthre (voir paragraphe sur les insecticides d'origine végétale). Ces derniers étaient trop peu stables (dégradation sous l'effet de la lumière et sous l'effet d'oxydases dans le corps des insectes). Pourtant, leur action de choc étant remarquable, il était permis de penser que le système était améliorable. Ceci s'est réalisé en plusieurs étapes : purification des molécules les plus actives et production de ces molécules à l'échelle industrielle; adjonction de synergistes comme le pipéronyl butoxyde qui contrecarre l'action des oxydases après absorption dans le corps des insectes, production des premiers pyréthrinoïdes toujours instables à la lumière et, finalement, découverte des pyréthrinoïdes photostables.



Les premiers pyréthri-noïdes possédaient une structure encore assez proche des pyréthrines naturelles. Ce sont des produits généralement assez volatils et de très faible toxicité pour les mammifères, ce qui leur a valu de nombreuses applications en usage domestique et conservation des denrées. A partir des années 70 les premiers produits photostables utilisables en agriculture sont apparus (deltaméthrine, perméthrine, fenvalérate), suivis de nombreux autres (cyperméthrine, fluvalinate, fenpropathrine, cyfluthrine,...) qui sont utilisables à des doses proches d'une dizaine de g par ha (contre plusieurs Kg pour les OC, et de l'ordre du Kg pour les OP et carbamates).

Il est à faire remarquer que les améliorations dont sont pourvues les nouvelles molécules ne sont pas toujours apparues sans nouveaux défauts. Ainsi, l'augmentation du pouvoir neurotoxique et de la stabilité vont parfois de pair avec une toxicité aiguë non négligeable à l'égard des mammifères. Par ailleurs, l'ensemble des pyréthri-noïdes reste toxique pour la vie aquatique. Ce sont, en outre, des produits polyvalents avec une persistance biologique non négligeable, même si les teneurs en résidus détectables par les techniques analytiques sont très faibles et qu'il n'y a pas à proprement parlé de problèmes de résidus dans les denrées récoltées. Enfin, comme pour tous les produits utilisés de façon abusive, sans alternance avec d'autres composés, des problèmes de résistance de la part des organismes cibles peuvent survenir. Les pyréthri-noïdes ne sont donc pas la panacée d'une lutte chimique, même bien raisonnée, et peuvent poser des problèmes en lutte intégrée.

g) Produits divers

* L'imidaclopride (Gaucho) est un des derniers insecticides mis sur le marché qui est destiné à une utilisation à large échelle. Il appartient à la famille des guanidines. Ce produit a été spécialement conçu pour le traitement des semences (betteraves, maïs, légumes,...) et apporte une protection aussi bien contre les insectes du sol (taupins, atomaires,...) que contre les insectes s'attaquant aux parties aériennes de la plante après sa levée (pucerons, aleurodes,...)

* La pymétrozine (famille des triazones asymétriques) est active contre les homoptères (pucerons, et surtout mouches blanches). Ce produit affecte le comportement des insectes et empêche la prise de nourriture des stades juvéniles et adultes. C'est un produit prometteur dans les programmes de lutte intégrée en maraîchage, arboriculture et également en grandes cultures.

* Le diafenthiuron (Pegasus, Polo) est un insecticide-acaricide détruisant larves, nymphes et adultes par contact et par ingestion. Il s'agirait d'un pro-pesticide se transformant de façon biotique et abiotique en un dérivé actif inhibiteur de la synthèse mitochondrienne d'ATP (nouveau mode d'action : stratégie anti-résistance). Il serait particulièrement efficace à l'encontre des mouches blanches, pucerons, cochenilles en maraîchage, arboriculture, coton et plantes ornementales. Ce produit est compatible avec la lutte intégrée car il n'est pas dangereux pour les acariens prédateurs et pour les stades adultes de nombreux insectes utiles.

Un tableau récapitulatif présentant les caractéristiques principales des insecticides conventionnels et biorationnels est présenté à la fin de cette annexe (Tableau 7).

Les fongicides et autres pesticides conventionnels

Bien que l'on veuille par l'utilisation du terme fongicide, exprimer la potentialité de tuer les champignons, tous les composés classés comme fongicide ne possèdent pas cette faculté. En réalité seules les générations assez récentes de fongicides sont caractérisées par la propriété de tuer un champignon ayant déjà envahi une plante, il s'agit de produits pouvant exercer une action curative en inhibant le développement du mycélium (action curative) ou en le détruisant (action éradicante). Pour ce

faire, il importe qu'ils soient munis de propriétés de systémie, ou au moins une action pénétrante (dite translaminaire) de façon à pouvoir entrer en contact avec le mycélium dans les cellules des plantes attaquées. Il est, en effet, indispensable que les fongicides pénètrent les organes du végétal à protéger et agissent de façon sélective sur les champignons qui ont envahi les tissus végétaux. C'est pourquoi ces nouveaux fongicides possèdent des modes d'action assez particuliers pour éviter de porter atteinte au développement de la plante.

De nombreux produits, parmi lesquels les plus anciens, sont seulement fongistatiques. Souvent ils empêchent la germination de spores déposés à la surface des végétaux. Certains d'entre eux apportent également une protection à l'égard de maladies bactériennes. Il s'agit de produits de contact non pénétrants et pour cause, sinon ils risqueraient fort d'endommager les plantes vu que leur mode d'action est loin d'être spécifique. En anglais on les appelle aussi «protectants» car ces produits doivent être utilisés préventivement et recouvrir uniformément le feuillage avant que la spore n'ait germé. Lorsque la germination s'est effectuée et que le mycélium commence à envahir les cellules, ce type de fongicide ne peut plus rien, car, d'une part, le champignon est hors de portée et, d'autre part, leur action fongistatique et fongicide à l'égard du mycélium est souvent nettement moins importante que leur action antispore. Le mode d'application des produits, les programmes de traitement et même les stratégies anti-résistance dépendront très fort du type de fongicide (systémique-curatif ou contact-préventif) auquel on a à faire.

a) Les fongicides de nature inorganique et organo-métallique

Deux types de composés inorganiques possèdent des propriétés fongicides, le soufre élémentaire et certains sels métalliques. De nombreux métaux (comme le cuivre, mercure, zinc, étain) interviennent également dans la constitution de molécules de structure organo-métallique.

Le soufre est le composé utilisé le plus ancien (sous forme de fleurs de soufre, c'est à dire la forme obtenue après sublimation) contre oïdium et acariens. Actuellement, on l'utilise sous forme de poudre mouillable ou sous forme de «flowable» (formulation micronisée ou colloïdale). Il est important d'avoir des particules du bon diamètre (entre 0.2 et 10 microns) : plus grandes, la volatilisation et l'efficacité du soufre seront réduites; plus petites, la volatilisation risque d'être trop importante ce qui peut induire de la phytotoxicité. Puisque l'action résulte d'une fumigation, elle sera également dépendante de la température; il en sera de même pour sa phytotoxicité. Il n'y a pas d'effet de systémie, le soufre ne peut qu'inhiber la germination des spores de l'oïdium, spores qui sont présentes sur la surface des feuilles. Pour l'oïdium, cette germination peut se faire en absence d'eau, ce qui est compatible avec l'action fumigante du soufre.

Les produits cupriques sont également des substances utilisées comme «fongicides» depuis longtemps. En réalité ce sont les ions Cu^{2+} qui sont capables d'inhiber la germination des spores et d'entraver le développement du mycélium (action fongistatique). Mais comme ces ions sont également phytotoxiques, on a formulé le cuivre de sorte que les ions soient sous formes liées ou complexées. Ainsi, la libération des ions ne s'opère que très progressivement, ce qui garantit la sélectivité du traitement (absence de phytotoxicité). La première formulation de ce type fut la bouillie bordelaise (mélange de sulfate de cuivre et de chaux hydratée contenant 12 % de cuivre métallique) dont les propriétés anti-mildiou (vigne et culture de pommes de terre) sont bien connues. D'autres produits cupriques fongicides sont présentés dans le Tableau 4.

Les produits cupriques étant relativement insolubles, ils résistent assez bien au lessivage (bonne persistance d'action); ils ne posent pas de problèmes de résidus toxiques pour ce qui concerne les végétaux traités (la limite de tolérance est élevée)



TABLEAU 4
Quelques exemples de produits cupriques

Nom	Formule chimique	Utilisations
Sulfate de Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	semences
Oxychlorure de cuivre	$3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCl}_2$	mildious
Carbonate de Cu ammoniacal	Complexe chimique (formule inconnue)	Nombreuses maladies (arbo et maraichage)
Oxyquinoléate de Cuivre	1 ion Cu^{2+} complexé par 2 molécules d'hydroxy quinoléine	traitement de semences

mais ils peuvent constituer un problème par accumulation dans le sol lorsqu'on les utilise massivement année après année, comme cela peut être le cas en viticulture (France) et en cultures d'agrumes (Floride).

D'autres produits fongicides ont été développés à partir de sels de métaux lourds, comme les produits contenant du mercure, nickel, chrome, zinc, etc... Ce sont les produits mercuriques qui ont été le plus largement utilisés (très bonne efficacité) mais qui présentent également le plus de dangers (toxicité pour les animaux à sang chaud, persistance dans l'environnement, accumulation dans le sol, bioaccumulation dans certains organismes). C'est pour cette raison qu'ils ont été interdits d'abord pour les usages généraux (pulvérisation,..) mais aussi pour les usages spécifiques (traitement des semences, traitement de chancres sur les arbres). Pour le traitement de semences, le retrait est venu plus tardivement (dans les années 80 pour la plupart des pays européens mais seulement en 1992 en Grande Bretagne) car il n'a pas été facile de trouver des produits de substitution.

En réalité, pour les produits mercuriques, on est très rapidement passé de l'utilisation de produits totalement inorganiques (comme les chlorures mercurique et mercurieux) vers des composés organomercuriques (exemple : acétate de phénylmercure). Ces composés sont plus efficaces; leur transfert à l'intérieur des cellules à détruire s'opère plus rapidement mais, comme pour les produits cuivriques, c'est toujours l'espèce métallique divalente (dans le cas présent les ions mercuriques) qui, en définitive, est la véritable responsable de l'activité biocide. Ce sont ces ions qui peuvent, en effet, réagir avec des groupements sulfhydryles qui sont présents sur les sites actifs des enzymes.

Des dérivés de l'étain comprenant 3 noyaux phényliques (comme le fentin hydroxyde et le fentin acétate) sont caractérisés par une très bonne action fongicide tout en possédant des vertus acaricides. Ils sont particulièrement utilisés dans la lutte contre le mildiou de la pomme de terre. En pomme de terre, ils doivent être utilisés de préférence en fin de cycle végétatif car ils ne sont pas dénués d'une certaine phytotoxicité.

b) Les fongicides organiques de contact

C'est dans la classe des dithiocarbamates que l'on situe le thirame (ou TMTD) le plus ancien des fongicides organiques apparu sur le marché en 1931 et rapidement suivi par toute une série d'autres composés (manèbe, zinèbe, mancozèbe, propinèbe,...). On remarquera que certains de ces dithiocarbamates contiennent aussi un élément de nature inorganique comme faisant partie intégrante de leur structure chimique. Ces dithiocarbamates sont des produits préventifs très performants. C'est pourquoi, ils restent encore largement utilisés à l'heure actuelle. En outre, des chélates peuvent être formés et des ions toxiques pour les cellules fongiques seraient véhiculés par cette voie. Les ions en question peuvent faire partie intégrante de la matière active de départ (le zinc, par exemple) ou se trouver naturellement présents dans le milieu à l'état de traces, ou encore être additionnés comme seconde matière active au cours du traitement (mélange dithiocarbamate-cuivre).

Parmi les dérivés du benzène, on retrouve l'hexachlorobenzène (HCB à ne pas confondre avec l'insecticide HCH), le PCNB et le chloronèbe qui sont des produits assez anciens et ont été développés pour le traitement des semences et du sol. Le pentachlorophénol est un produit de protection du bois qui peut causer des problèmes de pollution des sols et des eaux. Le dichloran est un produit anti-botrytis, anti-monilinia et anti-sclerotinia. Citons surtout le chlorothalonil, qui reste largement utilisé car c'est un produit à large spectre comparable aux dithiocarbamates.

Le groupe des phtalimides comprend des produits à large spectre d'action comme le captane et le captafol, ce dernier ayant été retiré du marché européen car suspecté de propriétés cancérigènes.

Sans vouloir être exhaustif, tâchons cependant d'évoquer d'autres fongicides de contact d'usage courant ou récent. Parmi les quinones, on trouve le dichlone (traitement des semences et du sol) tandis que l'anilazine appartient au groupe des triazines. Le dichlofluanide et le tolyl fluanide sont deux produits importants pour la lutte contre la pourriture grise qui a été rejoint récemment par le pyrimétanil. Le fluazinam est un nouvel agent anti-mildiou et le pencycuron se montre très intéressant contre *Rhizoctonia* (peut-être par inhibition de la synthèse de chitine car il possède une structure similaire aux benzoylurées; voir le mode d'action des IGRs en lutte chimique biorationnelle).

c) Les fongicides systémiques

Ces produits peuvent être absorbés par les plantes et transportés d'un organe à l'autre par le biais du système vasculaire. La grande majorité des pesticides systémiques (ou endothérapeutiques) sont dits de systémie ascendante (apoplastique). Dans ce cas, le produit traverse les tissus épidermiques (cuticule) des feuilles pour atteindre le xylème, ou encore, s'ils sont appliqués au sol, ils accompagnent les flux d'eau absorbés par les racines et pénètrent dans le végétal selon un mode passif. Beaucoup de ces produits peuvent donc agir de l'intérieur et se trouver en contact intime avec les organes des champignons (hyphes, austeria, ...) qui sont hors de portée des fongicides de contact.

Ces propriétés de systémie sont en outre associées à certains modes d'action particuliers qui caractérisent nombre de produits systémiques. Ainsi, beaucoup de produits possèdent une activité biocide à l'égard des différents organes des champignons. Ces produits sont dès lors plus susceptibles d'enrayer le développement d'une maladie même si celle-ci a déjà pu s'installer au moment du traitement. Ceci était totalement impossible dans le cas des fongicides de contacts du type «protectants», qu'il faut utiliser de façon préventive. Pour de nombreux fongicides systémiques, en revanche, on bénéficie d'une action curative qui peut même devenir éradicante si l'action du produit est de détruire les organes en question, évitant toute propagation ultérieure.

Cette action curative n'est possible que parce que les produits en question sont des inhibiteurs plutôt sélectifs de systèmes enzymatiques «clés» pour le développement et la survie des champignons cibles. En réalité, il s'agit très souvent de produits unisites, c'est à dire inhibant un système bien spécifique des champignons à contrôler. C'est ce qui leur confère leur sélectivité à l'égard des cellules végétales et c'est ce qui explique également leur faible toxicité aiguë. Cette sélectivité et cette absence de toxicité sont, pour des raisons évidentes, tout à fait primordiales dans le cas de produits endothérapeutiques. Néanmoins, il y a un revers à la médaille, car les produits unisites sont plus susceptibles d'induire des phénomènes de résistance dans les populations des espèces cibles. En effet, si seule une interaction entre espèces moléculaires bien définies ou si seule une inhibition d'un système enzymatique bien particulier sont en cause pour l'expression du potentiel biocide, une légère (ou profonde) modification de ces systèmes est



possible suite à la pression de sélection exercée. Ceci ne peut bien sûr se réaliser que parce qu'il existe une certaine diversité génétique au sein des populations naturelles et qu'en outre, des mutations sont possibles. Il s'en suit que des souches résistantes peuvent apparaître plus ou moins facilement et ce risque doit toujours être pris en considération lors de l'élaboration de stratégies de traitement.

Les benzimidazoles et thiophanates constituent un groupe de fongicides historiquement très important car c'est grâce à cette famille que les potentialités des fongicides systémiques se sont rapidement exprimées de façon éclatante. Le plus connu est le bénomyl apparu en 1968 et actif contre une gamme étendue d'agents de maladies comme les pourritures à botrytis et rhizoctonia, l'oïdium, la sclérotiniose, les fusarioses, tavelure, etc... les phycomycètes (*Phytophthora*, *Pythium*, *Peronospora*, ...) figurent au rang des rares agents de maladies qui ne sont pas contrôlables par les benzimidazoles.

Les benzimidazoles sont des agents inhibiteurs des mitoses chez les champignons cibles. Ils sont utilisés en pulvérisation des parties aériennes (bénomyl, carbendazime, thiophanate-méthyl), en arrosage du sol, en traitement des semences (fubéridazole) et pour la conservation des denrées en post-récoltes (thiabendazole). Actuellement leur usage est en très nette régression vu les problèmes de résistance et en raison de l'apparition de nouveaux produits plus sélectifs et performants.

Les dicarboximides ne sont généralement pas présentés de façon explicite dans le groupe des substances systémiques, bien qu'en réalité, ils possèdent certaines propriétés de systémie ascendante lorsqu'absorbés par les racines. La procymidone, l'iprodione et la vinchlozoline sont les trois représentants bien connus. Ils ont rapidement pris le relais des benzimidazoles pour lutter contre la pourriture grise et *Sclerotinia* lorsque de sérieux problèmes de résistance ont vu le jour. L'iprodione est également actif contre *Alternaria*, *Helminthosporium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*,...; on l'utilise assez fréquemment en traitement de semences.

Plusieurs familles chimiques distinctes appartiennent au groupe des inhibiteurs de la biosynthèse de l'ergostérol (IBE). Ce sont les imidazoles (imazalil, prochloraz,...), les pyrimidines (bupirimate, ethirimol,...), les piperazines (triforine), les morpholines (fenpropimorphe, tridémorphe,...) et les triazoles (propiconazol, flutriafol, époxiconazol, tébuconazol, fenbuconazol, diniconazol, triadimefon, triadimérol, bitertanol, ...). L'inhibition de la biosynthèse de l'ergostérol empêche le développement des champignons puisqu'il s'agit d'un constituant primordial de leurs parois cellulaires. Ces produits sont tout particulièrement actifs sur les basidiomycètes (oïdium, rouille, tavelure,...) et se voient très largement utilisés en céréales et nombreuses autres espèces cultivées.

Il est à faire remarquer que tous les IBE n'ont pas le même mécanisme d'action au niveau moléculaire, ce qui a des répercussions importantes au niveau des stratégies anti-résistances (voir le chapitre VIII qui traite cette question de façon plus spécifique).

Les phénylamides (metalaxyl, furalaxyl, benalaxyl, oxadixyl...) forment une classe de composés sélectifs pour le contrôle des Oomycètes. C'est le cas également pour certains carbamates (propamocarbe) et divers autres composés (foséthyl, hymexazol, cymoxanil,...). Ceux-ci sont caractérisés par des mécanismes d'action différents des phénylamides, ce qui permet de les combiner de façon judicieuse de façon à éviter les résistances.

Comme autres fongicides systémiques on signalera encore certaines oxathiines, comme la carboxine (anti-oïdium et anti-rouilles), des organophosphates comme le pyrazophos et le tolclofos. Ce dernier est destiné au contrôle de maladies du sol, comme celles causées par *Rhizoctonia solani*.

d) Principaux herbicides utilisables en horticulture

Les triazines (atrazine, simazine, métribuzine,...), les dérivés de l'urée (diuron, linuron, métabenzthiazuron,...) et les uraciles (lenacil, bromacil,...) sont tous des inhibiteurs interférant avec la photosynthèse. Ce mode d'action leur procure une spécificité toute particulière à l'égard des végétaux et ils ne présentent donc que très peu de toxicité pour les animaux à sang chaud, les organismes vivants dans le sol, les insectes utiles ainsi que les organismes aquatiques. On présente dans le Tableau 5 quelques herbicides utilisables en maraîchage avec quelques informations sur leurs propriétés écotoxicologiques.

Les dinitrophénols sont, par contre, des inhibiteurs de la phosphorylation oxydative. Le DNOC et le dinosèbe sont des phénols libres qui sont à la fois herbicides, insecticides et fongicides. On les utilise lorsque la phytotoxicité n'est pas à redouter (traitement d'hiver en fruiticulture) ou comme défanants en culture de pommes de terres. Après estérification, les phénols sont moins phytotoxiques. On peut, dès lors, les utiliser en culture de façon plus sélective. C'est le cas du binapacryl et du dinocap qui sont des acaricides et des anti-oïdium (agissant comme le soufre par phase vapeur). Signalons cependant que le dinosèbe et son dérivé acétylé ont été retirés du marché des herbicides en Europe et aux Etats-Unis en raison des propriétés toxiques importantes qui caractérisent ces molécules et il en est de même pour le fongicide binapacryl.

En horticulture, les graminicides sont des produits de lutte très appréciés pour le contrôle des vivaces. Il en est de même pour d'autres produits non sélectifs (Tableau 6), mais utilisables de façon ciblée (voir annexe 2 : désherbage). Ces produits présentent un profil écotoxicologique assez favorable (faible toxicité, dégradation rapide, faibles risques de lessivage, faible impact sur la faune); c'est ce qui justifie partiellement l'engouement récent pour la commercialisation de plantes transgéniques résistantes à ces produits.

TABLEAU 5 :
Exemples d'herbicides sélectifs utilisables en horticulture et aperçu sur leur profil écotoxicologique

Exemples d'herbicides	Culture	DL50 (1)	Risques écotoxicologiques	
			Lessivage (2)	Autres (3)
propachlore	Choux oignons	710	+/-	
atrazine	maïs	750	+	Accumulation dans le sol
métribuzine	Tomates pomme de terre	1100	+/-	
diphénamide	Tomates pomme de terre	685	+	
trifluraline	Choux haricots oignons	5000	-	Résidus aminés
chlortal	Oignons cucurbitacées	>3000	-	Résidus chlorés
linuron	carottes	1146	+/-	
dinosèbe	Haricots pois oignons	25	-	Toxique poissons mammifères
chlorprophame	Oignons carottes	1200	+/-	
glyphosate	toutes (4)	470	-	

(1) La DL50 (dose létale 50) est déterminée sur rats après absorption par voie orale et est exprimée en mg/kg. Plus sa valeur est faible, plus le produit possède une toxicité aiguë importante. Parmi les herbicides présentés dans ce tableau, seule le dinosèbe peut être considéré comme toxique sur base de sa DL50 (25mg/kg).



(2) Les herbicides ont généralement très peu d'impact direct sur la faune utile et sur la vie microbienne des sols mais ils peuvent représenter une menace pour la qualité des eaux s'ils combinent certaines propriétés de mobilité et de persistance.» +» = lessivage probable; «+/-» = zone de transition;» -» = lessivage improbable.

(3) certains produits ne se dégradent pas totalement (minéralisation CO₂, NH₃, ...) mais se transforment en résidus qui peuvent s'incorporer dans l'humus.

(4) en post-levée des adventices mais en pré-levée de la culture à moins d'utiliser un mode d'application permettant de protéger la culture.

TABLEAU 6 :

Herbicides non sélectifs et graminicides

Nom commun	Nom commercial	Propriétés principales
glyphosate	Roundup	total, bonne action systémique
aminotriazole	Weedazol	total, systémique
glufosinate	Basta	total, peu systémique
quizalofop	Targa	graminicide (annuelles)
propaquizofop	Agil	graminicide complet
fluazifop	Fusilade	graminicide complet
haloxyfop	Gallant	graminicide complet

N.B. Un seul exemple d'appellation commerciale est donné : certaines de ces matières actives sont également commercialisées sous d'autres noms.

Les moyens de lutte chimique biorationnels

Les pesticides qualifiés de biorationnels sont de deux types parfois très distincts : d'une part, les produits naturels (d'origine botanique, microbiologique) qui peuvent néanmoins être des substances chimiques détruisant les ravageurs par action toxique (poisons nerveux, par exemple) et, d'autre part, des composés chimiques éventuellement produits par synthèse mais dont le mode d'action n'inclut pas nécessairement une intoxication directe de la cible.

a) Les composés d'origine végétale et naturelle

Dans la lutte contre les insectes, on utilise surtout les pyréthrinés extraites du pyrèthre, une composée (*Chrysanthemum cinerariaefolium*) proche des chrysanthèmes et qui est cultivée à cette fin en Afrique centrale (Kenya, Tanzanie,..). Comme évoqué dans le paragraphe sur la lutte chimique conventionnelle, ces substances sont très peu stables, ce qui limite très fort leurs possibilités d'utilisation pratique.

Les propriétés de la nicotine extraite du tabac (*Nicotiana tabacum*) sont également connues depuis longtemps mais son usage n'est pas recommandable car il s'agit d'un poison neuro-musculaire important pour l'homme et les animaux. De nombreux cas d'empoisonnements avec la nicotine et son dérivé sulfate ont été reportés dans la littérature internationale.

La roténone extraite des racines de légumineuses tropicales (*Derris* spp dans le Sud Est asiatique et *Lonchocarpus* spp en Amérique du Sud) a également été utilisée longtemps comme insecticide et actuellement encore comme piscicide.

La scilliroside est un glucoside à action stomacale extraite des bulbes de la roue rouge (*Scilla maritima*). Il s'agit d'un excellent souricide et raticide utilisable dans des appâts.

Le neem (*Azadirachta indica*) est un arbre des régions tropicales produisant diverses substances insecticides, répulsives et anti-appétentes dont une des substances actives essentielles est un triterpénoïde, l'azadirachtine. Les extraits de neem (obtenus des fruits ou des feuilles) et l'huile de neem (provenant des amandes du fruit) sont utilisés pour la conservation des denrées entreposées (action contre les bruches) et pour la protection des cultures maraîchères contre diverses chenilles.

Le neem n'est pas toxique pour l'homme et les mammifères (les rameaux de neem sont utilisés comme brosse à dent naturelle en Inde); en outre, il respecte les ennemis naturels (action par ingestion). Certaines tentatives de commercialisation des extraits de neem ont été amorcées aux Etats-unis (AzaDyne), mais aussi en Inde et en Europe (NeemAzal formulé par Trifolio-M, en Allemagne). Ces productions commercialisées présentent l'avantage de fournir un matériel de qualité plus constante du fait que la teneur en principe actif est contrôlée et garantie. Ce n'est pas du tout le cas avec les productions artisanales qui, pour ces raisons, ne donnent pas toujours de résultats satisfaisants.

Un autre produit naturel très prometteur est l'abamectine qui n'est pas synthétisé par une plante mais par une espèce de *Streptomyces*. Il s'agit donc d'un antibiotique qui fait preuve d'une activité toute particulière à l'égard des insectes et acariens. Du fait de son action systémique, il procure une bonne protection à l'égard des mineuses ainsi que contre les acariens s'attaquant aux agrumes, même si ceux-ci sont localisés sur la face inférieure (peu accessible) des feuilles.

De nombreuses substances végétales ont été extraites de plantes diverses comme les tagètes et d'autres Astéracées, de la fève de Calabar et d'autres Fabacées, des semences de moutarde, etc... Ce sont des substances appartenant à des groupes chimiques divers comme les polythiényls, les alcaloïdes (physostigmine), les polyacétylènes, les lipides, les terpènes (eugénol) et les phénols. Des recherches sont en cours actuellement en vue de développer à partir de ces composés de nouveaux produits qui pourraient trouver leur utilité pour le contrôle des nématodes phytoparasites.

b) Les produits synthétiques à action (anti)hormonale

Les produits appartenant à cette famille sont, en raison de leur mode d'action très particulier, parmi les plus sélectifs des agents de contrôle des insectes. Ils sont souvent appréciés dans les programmes de lutte intégrée où domine le volet biologique. Pour cette raison, les produits de ce type sont parfois classés comme des insecticides de synthèse classiques, bien qu'il ne s'agisse pas vraiment d'insecticide au sens strict.

Le tebufenozide (Confirm; Mimic) est un agoniste de l'ecdysone, l'hormone de mue. Le produit chimique se lie donc au même site récepteur que l'hormone qui contrôle la mue des insectes. Il s'ensuit que le processus de mue est accéléré ce qui provoque la mort des larves. Le tebufenozide permet le contrôle de divers insectes sauteurs (homoptères) et chenilles s'attaquant au riz, fruits et légumes ainsi qu'en foresterie.

Les brassinostéroïdes sont des substances naturelles (extraites du pollen de *Brassica napus*) possédant un noyau stéroïdique fort semblable à celui de l'ecdysone dont ils seraient dès lors des antagonistes et (ou) agonistes. Les phytostéroïdes du type brassinostéroïde constitueraient une source nouvelle d'isolement et de développement de futurs insecticides biorationnels.

Il existe quatre hormones très semblables qui sont produites par les insectes pendant leurs stades immatures et qui les maintiennent à l'état juvénile (larve ou nymphe). Par voie de synthèse chimique on a produit quantités de substances aux propriétés structurelles ou biologiques semblables à ces hormones : on les appelle hormones juvéniles, juvénoïdes, ou encore régulateurs de la croissance des insectes (Insect Growth Regulator = IGR). Ces produits ne sont pas des biocides puisqu'ils ne tuent pas l'insecte cible mais ils empêchent ou retardent le passage de l'insecte vers le stade adulte. Ceci se réalise notamment par inhibition de la synthèse de chitine, ce qui perturbe la mue et provoque la mortalité aux stades larvaire et nymphal.



Parmi les principaux avantages des IGRs on peut citer :

- une sélectivité sans pareille à l'égard des insectes en raison de la spécificité du système cible qui n'existe pas dans les autres formes de vie (pas de toxicité pour les mammifères) ;
- très faible toxicité également pour certaines espèces non cibles, essentiellement les insectes utiles dont le développement larvaire ne s'effectue pas sur les lieux traités. En outre, ces produits ne sont pas dangereux pour les espèces non phytophages car le mode de pénétration est souvent par ingestion ;
- peu des risques de développer certaines formes de résistance croisée (mode d'action non lié au système nerveux) ;
- possibilité de lutter (au moyen d'appâts) contre des insectes sociaux comme les fourmis car pas de lien direct entre exposition et intoxication (il faudrait dire plutôt perturbation du développement).

Au rang des inconvénients on doit épingler :

- faible stabilité, surtout dans le cas premiers produits développés : dans ce cas, il faut très rapidement recommencer le traitement en conditions extérieures ;
- pas de mortalité directe ce qui rend difficile l'évaluation de l'efficacité par l'utilisateur (barrière psychologique) ;
- les IGRs au sens strict ne sont actifs que pendant deux très courtes périodes de la vie des insectes appelées «fenêtres de sensibilité». Toutefois, à dose plus élevée, ou avec les produits plus récents (benzoylurées), l'application de l'IGR aux stades immatures empêche la reproduction des formes adultes qui pourraient survenir et l'application au stade oeuf altère le développement de l'embryon, empêche l'éclosion, ou provoque la mort après l'éclosion.

Comme exemples de produits on citera :

- La famille des benzoylurées avec le diflubenzuron (Dimilin), teflubenzuron (Nomolt), l'hexaflumuron (Consult), le triflumuron (Alsystine) et le flufenoxuron (Cascade). Ce sont des produits connus pour inhiber la synthèse de la chitine qui forme l'exo-squelette des insectes et des acariens. En absence de cette synthèse l'insecte (larve ou nymphe) meurt au cours de la mue suivante. Les benzoylurées n'ont quasi pas d'action de contact. Cependant, certains produits (hexaflumuron) sont systémiques et sont donc également actifs sur les insectes et acariens piqueurs et suceurs.
- Le méthoprène est peu persistant et n'est vraiment utile qu'en espaces clos (denrées entreposées, serres, champignonnières)
- Le pyriproxyfen (Admiral) est homologué depuis peu pour la lutte contre les larves de la mouche blanche
- Le fenoxycarbe (Insegar) est beaucoup plus persistant ce qui permet son utilisation en extérieur contre lépidoptères, cochenilles, insectes suceurs.
- La buprofezine (Applaud) appartient à une famille qui présente certaines similitudes avec les benzoylurées, il agit par ingestion et est un insecticide-acaricide dont l'effet est assez persistant; il est surtout utilisé en cultures maraîchères.
- La cyromazine (une triazine !) (Trigard) interfère avec les processus de mue et formation de pupes. Le produit est systémique et particulièrement utile pour le contrôle des mineuses (cultures légumières) ainsi que pour le contrôle des larves de diptères dans le lisier de poule destiné à être recyclé.

c) Les allomones naturelles

Emises par une espèce, les allomones sont destinées à modifier le comportement d'autres espèces. Ce sont des répulsifs, des anti-appétents (l'insecte cesse de se nourrir) et des phago-déterrents (l'insecte délaisse le végétal en question pour se nourrir sur d'autres espèces). Enfin, il faut aussi mentionner des régulateurs de croissance d'origine végétale (il s'agit donc d'analogues naturels d'hormones

naturelles, contrairement aux IGRs et aux herbicides phénoxy-alcanoïques qui sont des analogues synthétiques d'hormones naturelles). L'exemple le plus connu est celui de la juvabione, analogue d'une hormone juvénile présent dans certaines essences de résineux en Amérique du Nord.

Certaines substances peuvent avoir une action répulsive sur les insectes : l'essence de citronnelle est un exemple de répulsif d'origine naturelle et le diméthyl phtalate en est un d'origine synthétique. Mais les répulsifs utilisés en agriculture visent plutôt d'autres organismes comme les oiseaux, le gibier,... L'antraquinone, le thirame (fongicide) et le methiocarb (insecticide de la famille des carbamates aromatiques) sont souvent utilisés à cette fin en traitement de semences. Bien entendu il ne s'agit plus dans ce cas d'allomones puisque ce terme est réservé aux substances naturelles ; on parlera donc tout simplement de répulsifs et d'anti-appétents.

Signalons que le développement de nouvelles substances capables de modifier le comportement des nuisibles (substances non biocides) est très prisé depuis quelques temps : de nombreuses substances végétales sont analysées sous cet angle dans l'espoir d'en retirer des molécules de référence qui serviront comme point de départ pour le développement de nouvelles classes de composés synthétisables en laboratoire.

Les anti-appétents et phago-déterrents font l'objet de nouvelles recherches surtout dans l'optique de l'extension des programmes de lutte à caractère biologique. On a signalé que certains insecticides végétaux (comme les extraits de neem) possèdent ces propriétés. Les molécules actives extraites de ces préparations sont du type limonoïde - flavonoïde et servent de structure de départ pour élaborer de nouvelles classes de dérivés synthétiques aux propriétés plus développées.

Il est donc clair que, malgré le fait que les allomones ne regroupent pas beaucoup de substances utilisables telles quelles, on retrouve dans ce groupe de nombreux composés des plus intéressants pour l'avenir de la phytothérapie.

d) Les hormones naturelles et les antibiotiques

On a déjà mentionné le rôle des hormones naturelles et molécules analogues dans le paragraphe précédent. On s'intéresse ici aux hormones végétales susceptibles d'inhiber, stimuler ou modifier le développement des végétaux appartenant ou n'appartenant pas à l'espèce qui les produit, on les dénomme «hormones végétales» ou «phytohormones». Des exemples de ces régulateurs de la croissance des végétaux sont :

- les auxines qui induisent l'élongation des cellules méristématiques. On utilise les auxines pour accélérer l'enracinement de boutures, pour l'éclaircissement des fruits, l'augmentation de la floraison. On commercialise également des analogues d'auxines (substances ayant la même activité) : l'acide indole-acétique, l'acide béta-naphthalénacétique, le carbaryl (qui est aussi un insecticide) et le 2,4-D (herbicide).
- les gibbérellines qui stimulent la division et l'élongation cellulaire. On les utilise pour augmenter la longueur des tiges, pour retarder le jaunissement, pour briser la dormance des semences de pommes de terre, pour augmenter la mise à fruit et le rendement en arboriculture. Indirectement, l'acide gibbérellique peut aussi apporter une contribution à la protection phytosanitaire. Le produit permet, en effet, de retarder la coloration des agrumes. En conséquence, les fruits restent fermes plus longtemps, ce qui permet d'étaler les récoltes, mais aussi de retarder les attaques de moisissures et de diminuer les pontes de la mouche du fruit. Celle-ci n'est pas attirée par les fruits non mûrs car les huiles amères qu'ils contiennent tuent ses larves. Un traitement classique à l'éthylène (autre substance chimique à action hormonale) permet de rétablir la coloration des fruits après la récolte.



- les cytokinines qui induisent la division cellulaire et qui assurent une régulation des processus de différenciation dans les différentes parties des plantes. On les utilise pour prolonger la durée de conservation des légumes, fleurs et champignons. La zéatine est une substance naturelle mais on trouve également la kinétine et l'adenine qui sont des cytokinines synthétiques.

En dehors de ces substances hormonales, on trouve également toute une série d'inhibiteurs naturels comme les acides benzoïque, gallique, cinnamique et abscissique. Ces substances retarderont la germination de bulbes et tubercules et induiront un raccourcissement de la tige chez les céréales. On trouve également des inhibiteurs synthétiques comme le chlorure de chorméquat (CCC) et l'hydrazide maléique (Alar)

Les antibiotiques sont des substances produites par des micro-organismes. Ces produits sont capables, à très faible concentration, d'inhiber la croissance ou de tuer des bactéries et certaines espèces fongiques qui provoquent des maladies chez les animaux et les plantes.

Les *Streptomyces* produisent de nombreux antibiotiques parmi lesquels nous retiendrons :

- la streptomycine et la cycloheximide (*S. griseus*). L'utilisation de ces substances antibactériennes est toutefois volontairement limitée en phytopathologie (problèmes de transmission des gènes de résistance) ;
- l'abamectine (*S. avermitilus*) qui est le seul antibiotique manifestant une excellente activité insecticide et acaricide (action systémique contre mineuses et divers acariens en culture maraîchères et en arboriculture) ;
- la kasugamycine et la blasticidine (produites respectivement par (*S. kasugaensis* et *S. griseochromogenes*) qui sont efficaces dans la lutte contre certaines maladies du riz.

La pyrrolnitrine est un produit de métabolisation isolé de cultures de *Pseudomonas* spp. Ce produit s'avère intéressant pour contrôler le développement de divers champignons phytopathogènes et a servi de modèle pour le développement d'une nouvelle classe de fongicides, la famille des phénylpyrroles (ex. : le fenpiclonil utilisé en traitement de semences de céréales). Plus récemment, on a mis en évidence les propriétés fongicides des strobilurines et des oudemansinses produites notamment par *Oudemansiella mucida* ainsi que de certains analogues synthétiques appelés méthoxyacrylates. Ces nouveaux produits agissent tant au niveau des spores que des hyphes et interfèrent avec la production d'ATP, ce qui leur confère un mode d'action original. Les molécules naturelles seraient trop volatiles et trop rapidement désactivées par la lumière, ce qui ne serait pas le cas des analogues synthétiques qui seront prochainement commercialisés pour lutter contre les maladies des plantes.

En conclusion, on retiendra que de nombreux agents chimiques d'origine naturelle existent dans les végétaux ou peuvent être produits par des micro-organismes. Ces agents peuvent être utilisés soit directement en associant la plante qui les produit aux cultures à protéger (cas des soucis et des tagètes cultivés en association avec les pommes de terre, par exemple). On peut aussi extraire par des moyens artisanaux ou plus sophistiqués les principes actifs que ces plantes contiennent et les utiliser, soit tels quels, soit après formulation appropriée, pour protéger les végétaux. On peut également fabriquer ces produits en réacteurs industriels comme l'on fabrique les substances chimiques de synthèse ou les antibiotiques (réacteurs de fermentation microbienne). On peut enfin, tenter d'améliorer la combinaison chimique trouvée dans la nature en synthétisant des analogues plus actifs, plus performants (pyréthrinoides de synthèse, strobilurines,...). Si l'on ajoute à cela que les composés en question ne sont pas seulement des substances biocides mais aussi des répulsifs, des anti-appétents, des modificateurs de comportement, des

inducteurs de mécanismes de résistance dans les plantes,... on aura compris que l'on se trouve dans une discipline embrassant énormément d'aspects de la protection des plantes, comme la résistance variétale, les pratiques culturales adaptées, la lutte avec des substances naturelles et, enfin, la lutte avec des substances chimiques peu nocives voire ultra-sélectives.

TABEAU 7 :
Familles chimiques d'insecticides conventionnels et biorationnels et leurs propriétés principales

Famille chimique	Mode d'intoxication	Mode d'action	Persistance	Hydrophobie (bioaccum.)	Sélectivité	Toxicité aiguë	Résidus environnement
Minéral	ingestion	aspécifique	variable	faible	Souvent présente	Souvent importante	Parfois importants
OC	Multiple	Neurotoxique (axonique)	Très importante	Très importante	Souvent absente	Modérée à faible	Très importants
OP	Multiple (1)	Neurotoxique (inh. AChE)	faible à modérée	Moyenne (2)	possible	variable	peu à
Carbamates	Multiple (1)	Neurotoxique (inh. AChE)	faible à modérée	moyenne à faible (3)	Possible (2)	variable	peu (3) importants
Pyréthrinoides	multiple	Neurotoxique (1)	faible à (axonique)	Moyenne modérée	Souvent absente	faible	Peu importants
Végétal	variable	variable	faible	faible	Parfois présente	variable	Peu importants
IGR	Ingestion (contact)	Synthèse chitine	modérée	moyenne	très prononcée	très faible	peu importants

(1): Par contact + ingestion + inhalation

(2): La sélectivité à l'égard des insectes utiles dépend, entre autres, des propriétés de systémie et du mode d'application (granulés dans le sol, dans le système d'irrigation,...)

(3): Certains produits peu hydrophobes (par ex. : nématocides) risquent de contaminer les eaux.



Annexe 9 – Produire des légumes sains en respectant l’environnement

« Qui a placé dans un des plateaux de la balance les feuillages que le Scarabée aurait volé pour se nourrir, et dans l’autre les pitoyables amoncellements de plumes multicolores, les dépouilles des oiseaux victimes de l’aveugle furie des poisons insecticides ? Qui a le droit de décréter que le bien suprême est un monde sans insectes, même s’il doit être un monde stérile que ne réjouira plus la grâce aérienne d’une aile en plein vol ? »

Rachel Carson, *Silent spring* (Le printemps silencieux), 1962.

Les horticulteurs disposent actuellement de plusieurs centaines de matières actives pour lutter contre les ravageurs et maladies de leurs cultures. Au début, les produits disponibles étaient peu sélectifs et de fortes doses étaient nécessaires pour obtenir une bonne protection. En outre, on ne s’est pas rendu compte suffisamment tôt que certains d’entre eux, comme les organochlorés, avaient des effets secondaires préjudiciables sur la qualité des aliments et de l’environnement (résidus s’accumulant dans les chaînes trophiques). C’est pourquoi, assez rapidement, des personnes soucieuses de préserver la qualité de notre environnement et sa diversité biologique ont tiré la sonnette d’alarme. L’exemple le plus retentissant en est sûrement le livre de Rachel Carson dont une citation a été reprise en introduction à ce chapitre. En réalité, ce livre très critiquable d’un point de vue purement scientifique, offre cependant le mérite d’avoir alerté l’opinion publique et d’être à l’origine d’une prise de conscience collective qui a permis de redresser le tir lors du développement de nouveaux produits.

C’est ainsi que l’on est venu à progressivement interdire l’usage des produits présentant des effets inacceptables pour la santé de l’homme (à la fois utilisateur de pesticides et consommateur de denrées traitées) ou portant atteinte à la qualité de l’environnement. Parallèlement, des études toxicologiques et écotoxicologiques de plus en plus poussées ont été exigées pour l’acceptation de nouveaux produits, ce qui nous donne des garanties supplémentaires quant à la qualité des denrées alimentaires produites et quant à la sauvegarde de notre environnement.

Est-il possible de garantir actuellement la production de légumes en satisfaisant aux différents critères de qualité auxquels ces productions sont soumises ? La réponse n’est pas simple car la notion de qualité des légumes est complexe. C’est pourquoi, nous proposons d’approfondir un peu cette question de qualité en explicitant les divers aspects à prendre en considération. On examinera ensuite comment cet objectif de qualité peut être atteint (contrôle de la qualité). Par la suite, on évoquera le problème du respect de l’environnement dans le cadre de l’utilisation de pesticides. Pour ce faire, on décrira le comportement des pesticides dans l’environnement en spécifiant les dangers qu’ils peuvent y présenter. On examinera, ensuite, comment les risques d’atteinte à l’environnement peuvent être évalués, et quelles sont les précautions qui peuvent être prises pour limiter les effets indésirables résultant de l’utilisation des pesticides (amélioration des formulations et des méthodes d’application).



Qualité des légumes et méthodes de contrôle

a) Comment définir la qualité des légumes ?

Il s'est produit, au cours des dernières décennies, une énorme évolution dans la production agricole et surtout horticole. De plus en plus, ce mode d'agriculture tend à devenir un processus agro-industriel où les facteurs de production (pesticides, engrais) sont gérés de façon à optimiser la production. Cela est particulièrement vrai dans le cas des cultures hors sol où l'homme maîtrise, en plus des intrants, le climat, le régime d'éclairage et parfois même les processus de maturation des fruits et leur conservation.

Dès lors, il est normal que l'on se pose des questions sur la qualité des légumes obtenus dans de tels systèmes de production, et en particulier, sur l'altération éventuelle de cette qualité sous l'effet des traitements phytosanitaires. Mais avant tout, il importe de définir plus précisément ce que l'on entend exactement par le mot qualité, qui peut revêtir plusieurs significations suivant le contexte dans lequel on l'utilise.

Bien que la notion de qualité implique un ensemble très complexe de propriétés, on peut, scientifiquement parlant, distinguer trois concepts différents :

- Tout d'abord, la qualité dite «cosmétique» , c'est à dire la qualité externe, observable par les sens. On distinguera des aspects visuels (forme, calibre, couleur, uniformité, dégâts physiques, traces indésirables,...), des aspects gustatifs (arômes, odeurs, goût) et des propriétés dites kinestétiques (texture, rugosité, dureté) ;
- Ensuite, on peut considérer la qualité technologique qui prend en ligne de compte tous les aspects liés à la mécanisation des récoltes, la conservation, les possibilités de transformation des produits (conserves,...)
- Enfin, on tiendra compte de la qualité interne qui englobe la présence de substances nocives ou toxiques (mycotoxines, résidus de pesticides, etc...) et les propriétés nutritives (teneur en protéines, sucres, vitamines). Pour la tomate, un facteur important de qualité interne sera la teneur totale en sucre et en acide; pour les pois, ce sera la teneur en acides aminés libres et en amidon et pour les carottes, la teneur en carotène.

Il faut bien reconnaître que la qualité peut s'apprécier suivant des critères subjectifs qui ne sont pas interprétés de la même façon par tout le monde. Ainsi, la qualité cosmétique d'une tomate produite pour un supermarché ne sera pas pareille à celle que l'on attend d'un petit maraîcher travaillant en vente directe. Les goûts peuvent différer également, ainsi qu'il a été relevé au Mali où la production de pastèques et de melon de variétés introduites était peu appréciée en raison de leur goût trop peu sucré en comparaison avec les variétés locales.

b) Effet des pesticides sur la qualité des légumes

Beaucoup de gens s'inquiètent des répercussions de l'utilisation intensive de pesticides sur la qualité des légumes produits. On peut commencer par aborder le problème de la qualité des légumes du point de vue des possibles effets toxiques qui résulteraient de la présence de résidus de pesticides. Il est inévitable que certains traitements phytopharmaceutiques laissent des traces de produits qui seront encore présentes au moment de la récolte. Seuls certains résidus sont tolérés et en quantités minimales; ces dernières sont fixées dans le cadre de réglementations nationales et internationales (exemple *Codex alimentarius* élaboré conjointement par la FAO et l'OMS). Les éléments qui entrent en considération pour fixer ces Limites Maximales en Résidus (LMR) sont tout d'abord d'ordre toxicologique, c'est à dire que l'on se base sur la DJA (Dose Journalière Acceptable). Cette valeur est en fait déterminée à partir des études de toxicité à long terme (NOEL, No effect

level) réalisées sur plusieurs espèces d'animaux. Mais la fixation des LMR se base aussi sur les bonnes pratiques agricoles, et s'il est établi qu'en suivant correctement les modalités d'application du produit la teneur en résidus ne devrait pas dépasser pas une certaine valeur, c'est cette dernière valeur qui sera prise en considération pour la fixation des teneurs maximales autorisées, même si sur des bases purement toxicologiques, on pourrait être enclin à fixer la barre un peu plus haut. Le principe fondamental est donc bien de ne prendre aucun risque inutile. La meilleure façon de limiter les résidus de pesticides sur les fruits et légumes est de respecter scrupuleusement les délais exigés entre l'application du produit et la récolte. Il faut rappeler ici que pour une matière active donnée le délai à respecter peut varier selon la culture traitée.

Néanmoins, de nombreux produits sont déjà anciens et ont peut-être été homologués à un moment où les précautions étaient encore insuffisantes. C'est ce qui a justifié le retrait des organochlorés et des organomercuriques dont on n'avait pas estimé correctement tous les effets secondaires préjudiciables. C'est ce qui s'est répété plus récemment dans de nombreux pays avec le retrait de certains produits comme le dinosèbe, le captafol, le binapacryl et certains produits fumigants. C'est ce qui risque encore de se passer dans l'avenir avec d'autres produits figurant sur une liste «grise» de l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (EPA), cette liste comprenant toute une série de produits pour lesquels on suspecte des propriétés cancérigènes (carbaryl, bénomyl, zinèbe, manèbe, ...).

Les pesticides peuvent également entraîner des changements dans la composition chimiques des plantes. Ainsi, il est connu que la métribuzine (herbicide) peut diminuer la teneur en sucres réducteurs chez la pomme de terre, que le parathion (OP) peut faire baisser la teneur en acide ascorbique des épinards, et que le lindane (OC) peut induire des baisses dans la teneur en bêta-carotène des carottes et de la teneur en acide ascorbique des choux. En outre, les traitements pesticides peuvent provoquer des anomalies d'odeur et de goût soit directement soit par l'intermédiaire d'un métabolite ou d'une impureté. Ces modifications des propriétés organoleptiques peuvent survenir sur les produits frais tout comme en cours de conservation ou de préparation. Des exemples d'anomalies de ce type sont : le mauvais goût des carottes après un traitement au DD (fumigant nématicide) ou au méthame sodium (produit de désinfection du sol); le mauvais goût des pommes de terre et des choux après cuisson suite à un traitement à l'HCH (OC), le mauvais goût des fraises après mise en conserve lorsqu'elles ont préalablement été traitées au captane, thiram. Mais, par contre, pour ces mêmes fraises mises en conserves, on obtiendra un goût plus sucré suite à un traitement au dichlofluanide.

Les effets des traitements pesticides sur la qualité des légumes ne sont pas seulement négatifs puisqu'il peut également y avoir amélioration de la qualité, surtout externe. Ainsi, les choux-fleurs traités contre la mouche du chou auront un meilleur calibre que les non traités (plante affaiblie). Il en va de même pour quantités de légumes qui, non traités, présenteront des traces de dégâts d'insectes ou de maladies qui vont faire en sorte que le produit sera plus difficilement commercialisable. L'effet peut également se manifester sur les qualités technologiques et internes des produits agricoles. Ainsi, si la fusariose des haricots n'est pas enrayée, on verra une baisse dans les teneurs en acides aminés essentiels et si les nématodes ne sont pas suffisamment contrôlés, on assistera à une baisse des teneurs en sucres réducteurs, chez la pomme de terre, par exemple. En outre, certains traitements sont spécifiquement destinés à augmenter la qualité externe, c'est le cas du chlorprophame pour la destruction des germes de pommes de terre, d'hormones diverses pour améliorer la couleur (pommes de terre), inhiber la germination (oignons), accroître le calibre des bulbes (oignons)... Enfin, il



convient de rappeler le rôle de certains pesticides sur la conservation des denrées. En l'absence de traitements, les fraises seront contaminées par la botryticine, par exemple, ... sans oublier les risques de contamination des végétaux par diverses autres mycotoxines, comme les aflatoxines.

c) Comment contrôler la qualité des légumes et quelles stratégies faut-il adopter ? Les contrôles de la qualité des légumes peut s'opérer suivant plusieurs critères qui sont repris dans le Tableau 1.

TABLEAU 1
Méthodes de contrôle de la qualité des légumes

Critère de qualité	Méthode de contrôle
Forme, calibre	détermination du diamètre analyseurs d'image
couleur	colorimétrie
arômes	chromatographie en phase gazeuse
goût	tests organoleptiques
composition protéique	électrophorèse
teneur en vitamines	méthodes chimiques
réactions enzymatiques	mesures biochimiques
résidus de pesticides	méthodes instrumentales (1)

(1) Pré-screening également possible par des méthodes immunoenzymatiques

d) Stratégies de promotion de la consommation de légumes sains
La production de légumes à haute valeur ajoutée (pour consommation urbaine ou pour l'exportation) nécessite, en agriculture classique, de nombreux traitements phytosanitaires à des doses et fréquences pouvant être très élevées, surtout pour la production de primeurs destinées à l'exportation. Si, en outre, la récolte est échelonnée dans le temps, comme c'est le cas pour les tomates, les poivrons, les concombres ..., il devient quasi impossible de respecter le délai d'attente et les risques d'avoir des résidus à la récolte sont réels. En outre, les productions légumières ne constituent pas un des créneaux les plus intéressants pour les firmes phytosanitaires, si bien que les études de résidus sont moins nombreuses, et surtout, ne peuvent tenir compte de la multitude des conditions particulières que l'on peut rencontrer en Afrique, par exemple. A cela s'ajoute le fait que si les moyens de contrôles sont insuffisants, voire inexistant, tous les abus sont possibles y compris le recours à des spécialités phytosanitaires non homologuées ou bannies par les autorités compétentes.

Il faut donc être conscient de ce que l'horticulture classique en absence de moyens de contrôle de la qualité des produits (analyse des résidus) peut facilement connaître des dérives surtout sur le marché intérieur. En revanche, les exportations de primeurs vers l'Europe posent moins de problèmes pour les consommateurs car des contrôles sont effectués à l'entrée et les marchandises non conformes sont tout simplement refusées. En outre, le marché intérieur Européen se donne des armes de plus en plus efficaces pour contrôler ce qui vient de l'extérieur car, dans le domaine de la lutte intégrée en cultures sous serres, la lutte biologique s'implante de plus en plus et les légumes produits localement sont pour la plupart indemnes de tous résidus de produits phytosanitaires.

Ces problèmes ont fait l'objet d'un certain nombre d'études en Afrique du Nord et ont retenu l'attention des autorités compétentes en la matière. C'est dans ce contexte, qu'ont été créés dans plusieurs pays d'Afrique du Nord, des laboratoires d'analyse spécialisés dans l'analyse des pesticides dans le but de détecter des fraudes et de surveiller les résidus de pesticides, notamment dans les fruits et légumes. Signalons aussi qu'il est maintenant possible de réaliser des tests faciles (biotests,

tests immunoenzymatiques vendus en kits) qui permettent de réaliser un screening préliminaire et de se faire une première idée sur la présence éventuelle de résidus dans les végétaux (mais aussi dans le sol et les eaux).

Il est pourtant possible de limiter déjà le problème de résidus dans les fruits et légumes en veillant à appliquer quelques règles simples qui peuvent être inculquées aux producteurs par des vulgarisateurs compétents, par exemple :

- meilleure information sur la nature des produits utilisables. Souvent ceux-ci ne sont pas au courant des produits qui sont autorisés et de ceux qui ne le sont pas. De nombreux dépassements sont simplement imputables au fait que le produit détecté n'est pas autorisé sur la culture en question.
- meilleure information sur les modalités d'application (éviter les surdosages, les mélanges de produits à spectre d'action similaire, veiller à un meilleur respect du délai d'attente).
- campagnes de sensibilisation dans les écoles d'agriculture, et éventuellement auprès des groupements de producteurs.

Une autre approche, plus volontariste celle-ci, est basée sur l'auto-contrôle au niveau de la profession et préconise la distribution de labels de qualité. Dans ce but, un cahier de charges peut être constitué et proposé aux producteurs. Celui-ci stipulera de façon précise ce qui est permis et ce qui ne l'est pas, notamment en matière d'utilisation de pesticides. Les producteurs désireux de présenter leur production avec le label en question s'engagent à respecter le cahier des charges, ce qui constitue une garantie pour les consommateurs que les légumes produits seront indemnes de tous résidus indésirables. Cette façon de procéder suscite un certain engouement auprès des consommateurs sensibles à la qualité de leur nourriture (par exemple dans les chaînes de magasins Suisses « Migros » ou dans des boutiques spécialisées en produits dits « naturels »). Le fait que les prix de vente sont plus favorables aux producteurs de légumes dans de tels systèmes de production leur permet de compenser d'éventuelles pertes de rendements ou de récoltes qui résulteraient de la non (ou de la moindre) utilisation de pesticides. Ce n'est cependant pas le cas en Suisse où la production de légumes sous un label est devenue « standard ».

Mais le problème de la qualité des légumes vu sous ses aspects toxicologiques ne doit pas se limiter à la problématique des résidus de pesticides. En effet, il ne faut pas perdre de vue que la production de légumes en Afrique est souvent concentrée en zone péri-urbaine et que, de ce fait, elle peut impliquer l'utilisation de matières premières de qualité douteuse d'un point de vue toxicologique et hygiénique. On peut penser, en effet, aux déchets de toutes sortes et aux eaux usées qui peuvent être utilisés, tels quels ou après traitement rudimentaire, pour l'irrigation, la fertilisation et la protection phytosanitaire.

Protection de l'environnement

L'évaluation des risques de pollution de l'environnement par les pesticides peut se faire en tenant compte, d'une part, des propriétés intrinsèques de la substance chimique considérée et, d'autre part, de ses possibilités de se retrouver dans les différents compartiments de l'environnement que ce soit de façon directe ou indirecte.

Il est donc indispensable de pouvoir prévoir quels sont les compartiments de l'environnement qui seront exposés et dans quelles proportions ils le seront. Il faudra, ensuite, évaluer les effets biologiques potentiels qui pourraient se manifester dans ces différents compartiments de l'environnement. Ceci pourra se réaliser en confrontant les taux d'exposition probables des divers compartiments de l'environnement aux résultats des différents tests écotoxicologiques réalisés sur un certain nombre d'espèces représentatives de chacun des compartiments considérés.



Cette procédure d'estimation des risques est une opération indispensable qui doit être réalisée avant toute homologation d'un produit pour un usage déterminé.

a) Comportement des pesticides dans l'environnement

Pendant, et directement après un traitement phytosanitaire, un pesticide peut se retrouver dans différents compartiments de l'environnement qui sont :

- L'atmosphère. Le produit y sera présent sous forme de brouillard de pulvérisation (émulsion, dans l'air, de gouttelettes aqueuses contenant le pesticide), ou sous forme gazeuse, dans le cas de molécules à forte tension de vapeur (volatilisation à partir du brouillard de pulvérisation ou à partir des dépôts). L'atmosphère constitue dans ce cas un véhicule et on redoutera, dans ce cas, la dérive du brouillard de pulvérisation et la pollution subséquente d'autres compartiments de l'environnement. Ce transport peut s'effectuer sur de très longues distances et le produit réintègrera le milieu terrestre ou aquatique lors de précipitations. C'est un phénomène qui devient très important lorsque l'on a affaire à des molécules volatiles et photostables. Ceci s'est vu confirmé par le fait que l'on retrouve des traces de pesticides dans les eaux de pluies de certaines régions agricoles (entre 2 et 6 ppb au printemps pour les pesticides les plus couramment utilisés au USA) et il peut expliquer certaines contaminations a priori inexplicables par des organochlorés loin de toute zone où ceux-ci sont utilisés (volatilisation à partir des Caraïbes et d'Amérique centrale au cours de l'été, transport vers le Nord par les courants atmosphériques, retombées possibles au Nord des Etats-Unis et au Canada)
- L'utilisateur, la végétation traitée et les consommateurs des denrées traitées. C'est bien entendu un aspect qui a reçu, rapidement, une attention toute particulière car les effets sont assez directs (intoxication aiguë, subaiguë, etc...). Cette forme de contamination pourra être limitée dans ses effets pour peu que les précautions élémentaires et les bonnes pratiques agricoles soient respectées (vêtements de protection, utilisation de produits homologués pour la culture en question, respect de la dose, respect du délai d'attente). En effet, en respectant les modalités d'application, et en prenant en considération les études de résidus à la récolte et les études toxicologiques, on doit pouvoir garantir l'absence de tout effet néfaste dans les conditions normales d'utilisation. Les limites maximales de résidus sont fixées en utilisant des valeurs parfois largement inférieures à celles découlant des études toxicologiques. C'est ainsi que pour de nombreux pesticides homologués aucun résidu ne peut être présent à la récolte car il a été établi qu'en conditions normales d'utilisation, la teneur en résidus dans les denrées récoltées est inférieure aux limites de détection que l'on peut obtenir avec des instruments classiques. Le principe est le même pour l'eau potable dans le CEE : pas de résidus tolérés à des concentrations supérieures à 0.1 ppb (c'est à dire la limite «habituelle» de détection des instruments) même si en se référant à des études toxicologiques on devrait pouvoir tolérer, dans la plupart des cas, des valeurs nettement supérieures. Dans ce domaine, la situation est différente aux Etats-Unis qui fixent les teneurs dans l'eau potable à partir de données toxicologiques (tolérances plus grandes).
- Le sol. Les produits y sont soit directement appliqués (nombreux herbicides, certains insecticides) ou alors la mise en contact est indirecte (retombées des bouillies de pulvérisation, traitement des semences, eau d'irrigation, ...). Le produit qui atteint le sol peut se volatiliser, se décomposer par voie chimique (instabilité variable en fonction du pH et photodégradation pour le produit resté à la surface du sol) ou par voie microbiologique. Le produit intact peut également s'adsorber aux colloïdes du sol et plus particulièrement à la matière organique et aux argiles (du moins pour les composés non ionisables dans les conditions normales de pH). Adsorbé, le produit voit sa mobilité limitée, il pourra

moins vite migrer vers le sous-sol (diminution du risque de pollution des eaux souterraines) et sera moins sujet aux phénomènes de ruissellement (diminution du risque de pollution des eaux de surface). Si le produit se transforme dans le sol, il y a lieu de s'intéresser également aux produits de transformation dont on devra connaître également la stabilité, la mobilité et éventuellement la toxicité. Un produit ne sera jugé complètement détoxifié que s'il se minéralise en libérant du CO₂, de l'eau, du NH₃, etc... Il arrive que des produits (ou leurs produits de transformation) interagissent très fort avec les constituants du sol par création de liens chimiques solides de façon à donner naissance à des résidus dits «liés» . Certains responsables considèrent que ces résidus font quasi partie intégrante de la matière organique du sol et qu'ils évolueront très lentement sans présenter de risques pour l'environnement. D'autres considèrent, par contre, qu'il faut accorder une attention toute particulière à la nature de ces résidus liés (contiennent-ils des groupements organochlorés récalcitrants; sont-ils susceptibles de se re-libérer si les conditions du milieu changent ? Peuvent-ils d'une façon ou d'une autre être ré-intégrés dans la biomasse et y manifester des effets écotoxiques ?)

- L'eau. La contamination est possible en cas d'accidents (déversage direct des produits) ou de traitements visant directement le milieu aqueux (utilisation d'algicides, larvicides). La contamination peut aussi se réaliser suite aux retombées des traitements (dérive), au ruissellement des eaux de pluies survenant après le traitement d'un champ ou après le rinçage du matériel de pulvérisation sur le sol de l'exploitation. Les eaux souterraines et de surface peuvent aussi être atteintes suite à la migration dans le sol et contamination des réserves souterraines, des sources, Comme pour le sol, il y a lieu de tenir compte de mécanismes qui vont détoxifier ou immobiliser le produit (volatilisation, (photo)dégradation abiotique, biodégradation (en aérobiose mais aussi en anaérobiose), adsorption aux sédiments (immobilisation possible après décantation). L'eau à son tour peut servir de moyen de contamination direct ou indirect d'autres compartiments de l'environnement (hommes, vie aquatique, animaux sauvages,...).
- Les organismes vivants non visés par le traitement (organismes aquatiques, oiseaux, petits mammifères, insectes utiles,...). Ces organismes peuvent être contaminés directement au moment du traitement, ou peu après un traitement, suite à l'inhalation de vapeurs ou suite à l'ingestion d'eau, de sol ou de végétal traités. Cette contamination peut se poursuivre via les chaînes trophiques dans le cas de substances apolaires. On retrouve, dans ce cas, l'image classique de deux pyramides juxtaposées. Dans la première pyramide, celle des biomasses, la base est composée de la masse très importante des végétaux. Celle-ci est surmontée de la biomasse plus réduite des insectes phytophages. Ceux-ci servent de nourriture aux insectivores, dont la biomasse est plus réduite encore, et on retrouvera enfin, au sommet de la pyramide, les rapaces qui représentent une très faible biomasse. Sur cette première pyramide, on peut juxtaposer la pyramide des concentrations en pesticides qui repose cette fois sur son sommet. En effet, la concentration dans la biomasse végétale est faible mais croît à chaque fois qu'un échelon trophique supérieur est atteint, si bien que c'est chez les rapaces que l'on retrouvera les concentrations les plus élevées. Cet exemple relatif à la bioaccumulation est bien connu; dans la pratique, cependant, c'est surtout au niveau des organismes aquatiques que l'on retrouve ce scénario avec au sommet de la pyramide, diverses espèces d'oiseaux se nourrissant de poissons, sans oublier l'homme lui-même !

b) Effets écotoxiques des pesticides

Les organismes aquatiques sont extrêmement importants dans le domaine de l'écotoxicologie des pesticides, ce qui est probablement à mettre en relation avec la



toxicité élevée de nombreux insecticides en milieu aquatique. Pour mettre ces effets en évidence, on peut réaliser deux types de tests : tout d'abord, les tests de toxicité aiguë menés sur 48 à 96 heures afin de déterminer la LC50 ou la EC50, c'est à dire la concentration létale ou affectant la croissance des individus (poissons, daphnies et algues). Ensuite, les tests sont menés sur des périodes plus longues (jusqu'à 28 jours) afin de déterminer la dose sans effet (No effect level = NOEL). Plus la valeur de ces paramètres est faible, moins il faut de produit pour induire un effet toxique et plus le danger d'intoxication est élevé. Dans le cas de molécules apolaires, il faudra aussi déterminer le facteur de bioconcentration.

A côté de cette évaluation des propriétés toxiques, il faut procéder simultanément à la détermination du taux de contamination du milieu aquatique et confronter ensuite ces deux paramètres de base pour l'évaluation des risques écotoxicologiques. Si la concentration dans le milieu aquatique, telle qu'elle peut être estimée à partir du taux d'exposition, est 1000 x plus faible que les valeurs de LC50 et EC50, on estimera que les risques pour le milieu aquatique sont négligeables. Suivant le type d'exposition auxquels on peut s'attendre et en tenant compte des situations les plus défavorables (cf. Tableau 2), les valeurs seuil de ces paramètres de toxicité aiguë devraient se situer entre 10 et 100 mg/L. Un pesticide, caractérisé par une DL50 supérieure à 10 mg/kg pour les divers organismes aquatiques ciblés, sera donc considéré comme étant peu dangereux pour la vie aquatique.

Pour ce qui concerne les oiseaux et la faune sauvage, les pesticides peuvent provoquer deux types d'effets non désirés : des effets toxiques résultant d'une intoxication directe ou indirecte d'une espèce non cible et des effets secondaires d'ordre écologique non liés à l'intoxication. Pour expliciter ce dernier cas on peut donner l'exemple d'un insecticide qui sera susceptible d'avoir une influence sur la survie de certains insectivores par destruction de leur source de nourriture, ou d'un herbicide qui pourra porter atteinte à la survie de certaines espèces sauvages suite à la destruction de leur habitat. Seuls les effets liés à une intoxication seront évoqués ici.

Trois types de tests peuvent être réalisés pour prévoir la toxicité sur ces organismes, à savoir : La LD50 après prise d'une dose unique, la LC50 après exposition à des concentrations croissantes dans la nourriture et la NOEC, concentration la plus élevée ne manifestant aucun effet toxique sur les animaux tests.

Pour estimer les risques encourus par les oiseaux, il faudra, ensuite, examiner par quelle voie l'intoxication peut s'effectuer : exposition directe (pulvérisation aérienne !), par des appâts, granulés ou semences traitées (insecticides, etc...), par l'alimentation (végétaux, insectes et eaux contaminés). Il faudra ensuite estimer le rapport de la teneur en pesticide manifestant un effet toxique sur la teneur estimée dans les aliments de ces organismes. D'une façon générale on estime que les risques seront acceptables si ce facteur atteint 1000 dans les cas où l'on ne dispose que de LC50 pour moins de 3 espèces différentes (peu d'informations disponibles) ou s'il atteint 10 dans le cas où l'on dispose de valeurs de NOEC pour au moins 3 espèces différentes (dossier écotoxicologique complet).

TABLEAU 2 :
Estimation des risques écotoxicologiques pour le milieu aquatique

Risques écotoxi cologiques	Taux d'exposition au pesticide	Potentiel écotoxique du pesticide	Exemples de traitement
Très élevés	Très élevé	Très élevé	Traitement d'un plan d'eau avec un insecticide persistant (DDT contre moustiques)
Modérés	Très élevé	Faible	Traitement d'un plan d'eau avec un produit algicide spécifique
Modérés à faibles	Faible	Elevé	Traitement d'une parcelle avoisinant un plan d'eau par incorporation d'un insecticide dans le sol.
Modérés à faibles	Modéré	Modéré	Traitement d'une parcelle avoisinant un plan d'eau par pulvérisation foliaire d'un produit à sélectivité et persistance modérées
Négligeables	Faible	Faible	Incorporation dans le sol d'une parcelle avoisinant un plan d'eau de semences traitées avec un produit sélectif.

N.B. :Le résultat obtenu peut être tout différent si l'on considère un autre compartiment de l'environnement comme, par exemple, la faune sauvage.

Les vers de terre (*Eisenia foetida*, *E. andrei*) sont souvent choisis comme cible potentielle pour l'écotoxicité terrestre en raison de leur abondance et de leur utilité pour la vie tellurique. Les tests de laboratoire disponibles portent sur la toxicité aiguë (LC50) et la détermination d'une NOEC. Un facteur de sécurité de 100 sera utilisé à partir de valeurs de LC50 et de 5 à partir de la NOEC pour que le niveau de risques attendu soit négligeable. Il faut, néanmoins, faire remarquer que les vers de terre sont des organismes certes utiles pour l'agriculture mais pas nécessairement des plus sensibles aux traitements phytosanitaires. D'autres organismes décomposeurs des matières organiques pourraient être très sensibles aux pesticides et faire l'objet de tests.

Les tests concernant les micro-organismes du sol se subdivisent en deux classes : ceux portant sur les grands processus de la vie microbienne (respiration, ammonification, nitrification) et ceux visant des organismes spécifiques d'importance agronomique (organismes fixateurs d'azote tels que *Rhizobium* et *Anabaena*). En dehors de quelques produits a-spécifiques (comme les fumigants, par exemple), il est rare que les produits phytosanitaires modernes affectent ces processus de façon autre que par une perturbation réversible de courte durée. Les tests sur les organismes fixateurs d'azote, par contre, doivent pouvoir garantir l'absence d'effets toxiques (mesure de la croissance de la plante hôte, rendement et évaluation du processus de nodulation). D'une façon générale, on veillera à ce que ces tests aient été conduits en utilisant des concentrations 5 fois supérieures à celles susceptibles de se retrouver dans le sol suite à une application à la dose recommandée.

Les abeilles, les insectes et les acariens utiles font partie des organismes essentiels dans de nombreux programmes en lutte intégrée. Une attention toute particulière doit leur être adressée. Pour les pollinisateurs, comme les abeilles, on aura recours à des tests de laboratoire, en volières et en conditions de plein champ. Pour ce qui est des insectes et acariens utilisés en lutte intégrée (*Encarsia formosa*, *Phytoseiulus persimilis*), il existe des tests visant à évaluer directement l'incidence du produit sur la survie des adultes, sur le maintien des facultés de parasitisme et sur la reproduction. Ici aussi, un premier screening est réalisable au moyens de tests de laboratoire, tests qui seront indispensables pour tous les insecticides laissant



des résidus sur les feuilles. Pour ce qui est des produits systémiques (possibilités réduites de contact direct et donc d'intoxication), des produits gazeux, ou des produits peu persistants, il faudra de toute façon recourir à des expérimentations en conditions réelles afin de vérifier leur innocuité à l'égard de ces organismes utiles. On accordera aussi une attention toute particulière au délai d'attente qu'il faudra impérativement respecter entre le traitement avec le pesticide et le moment où un lâcher inondatif avec un auxiliaire utile pourra être exécuté.

c) Comment réduire l'impact des pesticides sur l'environnement et augmenter la sécurité lors de l'utilisation ?

Le respect des bonnes pratiques agricoles est certes le premier élément à prendre en considération pour réduire l'impact négatif des pesticides sur l'environnement. Si les produits sont réellement utilisés pour les usages pour lesquels ils sont autorisés, aux doses prescrites, au moment voulu (respect du délai avant récolte), cela évitera, en tout premier lieu, les dépassements des limites tolérées en matière de résidus dans les denrées récoltées. Si, en outre, les précautions d'usage sont prises pour éviter: gaspillages (dus, par exemple, à un mauvais réglage ou mauvais état du pulvérisateur), débordements de cuves, dérive avec le vent, ... on échapperait à bien des déboires. Un autre aspect à ne pas négliger, c'est la bonne gestion des restes de produits phytosanitaires : éviter d'épandre les restes de bouillies de pulvérisation n'importe où dans l'environnement et surtout dans les cours d'eau, mêmes précautions pour les restes de flacons et les emballages des produits après utilisation, mêmes précautions encore, pour les produits renversés accidentellement, les vieilles préparations périmées, ... toutes précautions qui ne seront pas sans conséquences sur la qualité de notre environnement : elles permettront, en effet, d'éviter la pollution des eaux, l'intoxication des poissons,...

Les formulations des pesticides sont conçues de façon à rendre la matière active utilisable (c'est à dire manipulable, transportable, pulvérisable,...). Mais formuler un produit c'est aussi le rendre plus efficace, dans le but de réduire les doses d'utilisation et diminuer les pertes dans l'environnement. Pour ce faire on peut augmenter la pénétration du produit dans le végétal traité (important pour diminuer les doses d'herbicides, par exemple), on peut augmenter l'adhésivité et la résistance au lessivage (pour prolonger la protection offerte par les fongicides de contact, par exemple).

Pour réduire la toxicité et l'écotoxicité des préparations de produits phytosanitaires, on favorise le conditionnement des poudres mouillables en emballages hydrosolubles. Ces sachets réalisés à partir de résines d'alcool polyvinyliques, se décomposent complètement en quelques minutes dès qu'ils sont plongés dans l'eau de préparation de la bouillie. Ceci permet de réaliser un dosage précis (sachets pré-pesés), d'éviter les émanations de poussières et de supprimer les restes de produits dans les cartons d'emballage. Cette technique de sachets hydrosolubles est également disponible pour des formulations à base de gels. Dans la même ligne de pensée, on a développé des tablettes effervescentes emballées individuellement sous aluminium; tout contact avec le produit est ici aussi supprimé, de même que les pertes ou surdosage. Comme exemple de développement, on peut signaler le glyphosate, herbicide très utile en cultures maraîchères (voir chapitre III) qui sera dorénavant disponible en doses individuelles pour pulvérisateurs à dos. Dans le domaine des formulations on peut mentionner aussi les granulés dispersables dans l'eau qui existent depuis quelques temps déjà et qui présentent des avantages similaires. On signalera, enfin, les progrès réalisés au niveau des flacons: ceux-ci sont plus sûrs (afin d'éviter les fuites accidentelles) et, de plus, plus commodes pour une utilisation sans pertes ou gaspillages (dimensions adaptées aux différents types d'exploitations, dispositifs anti-goutte, dispositifs permettant un dosage plus précis,...)

On réalise également de réelles améliorations en supprimant la nécessité de recourir à certains solvants, comme les dérivés aromatiques (xylène) et d'autres produits organiques non exempts d'une certaine toxicité ou présentant des gênes olfactifs. C'est dans ce but que l'on a développé les microémulsions et les émulsions.

L'application des pesticides a également subi des perfectionnements grâce aux formulations à libération retardée qui permettent de libérer dans le milieu juste assez de produit et pendant tout le temps nécessaire pour assurer la destruction de la cible.

Enfin, on peut appliquer le produit d'une façon plus ciblée en faisant appel au traitement des semences. Cette dernière technique est appelée à des développements considérables car non seulement elle permet de lutter contre les ravageurs du sol en limitant au maximum le contact entre le produit et le sol, mais, en outre, grâce aux pesticides systémiques, il devient possible de lutter contre les ravageurs et maladies s'attaquant aux parties aériennes sans devoir recourir à des pulvérisations. De ce fait la contamination de nombreux compartiments de l'environnement devient quasi impossible. Seul inconvénient, on augmente les dangers d'intoxication des organismes susceptibles de se nourrir volontairement ou accidentellement des semences traitées (oiseaux, volailles, parfois aussi l'homme lorsque la semence traitée est une céréale que l'on détourne de son utilisation projetée). Heureusement, il existe des parades : obligation d'ajouter des substances répulsives, émétiques et (ou) des colorants, ce qui peut limiter très fort les risques d'intoxication.

Il existe d'autres possibilités de modifier le comportement d'un pesticide et de le rendre ainsi moins écotoxique. Citons, par exemple, les perfectionnements réalisés au niveau des appareils de pulvérisations. Ainsi, avec les pulvérisateurs électrostatiques, on empêche que le produit ne soit emporté par le vent ou ne retombe sur le sol. En effet, avec ce type d'appareil les gouttelettes sont chargées positivement et se séparent en une multitude de gouttelettes ultra-fines. Celles-ci sont attirées par les surfaces foliaires du végétal qui sont, elles, chargées en sens opposé. De cette façon, on favorise une excellente imprégnation tant de la partie supérieure que de la partie inférieure des feuilles, ce qui contribue à une meilleure protection avec moins de produit.

Il en est de même pour les appareils de pulvérisation sous tunnel de protection. Ce sont encore des appareils expérimentaux mais déjà les résultats obtenus en arboriculture montrent que l'économie réalisée est appréciable. Ceci s'explique par le fait que l'on recycle le produit qui, dans le cas d'une pulvérisation classique, serait perdu suite à la dérive. L'économie en produit ainsi réalisée serait suffisante que pour compenser les coûts additionnels nécessités par l'investissement dans un appareil assez sophistiqué. Il s'agit, en effet, d'un pulvérisateur assez complexe, adapté au traitement de rangée d'arbres dans des vergers en basse-tiges ou en viticulture. Cet appareil se présente comme un tunnel mobile qui enjambe la rangée d'arbres à traiter et, c'est grâce à cette infrastructure de couverture que l'on peut intercepter le produit qui normalement serait répandu dans l'environnement.



Annexe 10 – Production de légumes en systèmes durables

L'utilisation abusive d'intrants agricoles risque de mener, dans des délais plus ou moins rapprochés, la plupart des systèmes de production agricole vers des impasses. En effet, la culture intensive est trop souvent basée sur l'emploi exclusif d'engrais chimiques et de pesticides sans mesures de protection de la fertilité du sol. Ceci risque fort de mettre à mal l'écosystème agricole suite à une dégradation du sol, voire une pollution de l'environnement tout entier (perte de l'humus, diminution de la teneur en éléments nutritifs, dégradations physiques, érosion, envahissement par des organismes pathogènes, contamination des eaux par des résidus de pesticides, excès de nitrates, ...).

Il faut ajouter que cette lutte chimique, si elle n'est pas raisonnée et intégrée dans un contexte de production et protection intégrées, aura bien vite d'autres conséquences néfastes. En effet, l'utilisation de pesticides non sélectifs n'épargnera pas les ennemis naturels des ravageurs des cultures. La disparition de ceux-ci aura pour conséquence d'augmenter les dégâts occasionnés par d'autres ravageurs qui, en d'autres circonstances, n'auraient pas nécessité des mesures de contrôle car les populations étaient maintenues naturellement en dessous du seuil requérant une intervention.

Ainsi, on a pu constater qu'en culture d'arachide en Afrique il y a moins de dégâts imputables aux mineuses qu'en Inde. Ceci s'explique par le fait qu'en Inde on traite plus fréquemment contre les jassides et les thrips, ce qui a pour effet de détruire les ennemis naturels des mouches mineuses et d'*Helicoverpa* spp. On tente maintenant d'introduire de nouvelles lignées résistantes aux jassides et aux thrips dans l'espoir de limiter, ou de retarder le plus longtemps possible, les pulvérisations et sauvegarder ainsi les ennemis naturels.

Parfois ce sont des habitudes bien ancrées chez le consommateur qui sont à l'origine d'utilisation exagérée de pesticides. Ainsi, bien souvent, le producteur doit répondre à certains critères de qualité cosmétique (gros calibre, absence de dégâts de thrips, de tâches bactériennes,...), ce qui l'oblige à réaliser de nombreux traitements supplémentaires rendant de plus en plus aléatoire la fonction des ennemis naturels.

Préserver l'efficacité des produits

Imaginons qu'un système de protection chimique puisse être tout à fait inoffensif pour l'utilisateur de pesticides, pour le consommateur de légumes et pour l'environnement en général. Même dans un contexte de ce type, il y a lieu de prendre des mesures drastiques pour assurer la pérennité des méthodes de lutte basées sur l'utilisation de pesticides.

En effet, si les pesticides constituent le seul moyen de défense et s'ils sont utilisés de façon mal réfléchie, ils peuvent conduire à l'acquisition de phénomènes de résistances auprès des organismes qu'ils sont censés contrôler. Cette crainte de la résistance a, d'ailleurs, été un des éléments essentiels qui a joué en faveur de l'extension des programmes de lutte intégrée dans les vergers d'Europe ou dans les cultures de riz du Sud-Est asiatique.

a) Mécanismes de résistance

Une très grande part des insecticides commercialisés sont des poisons nerveux. Déjà parmi les poisons végétaux, on peut noter la présence d'un grand nombre



de substances agissant sur le système nerveux, et c'est d'ailleurs souvent ces substances qui ont servi de premier modèle pour la conception de nouvelles familles d'insecticides (physostigmine pour les carbamates; pyréthrinés pour les pyréthrinés).

Les impulsions nerveuses sont transmises depuis le corps de la cellule nerveuse vers les autres cellules par l'intermédiaire d'impulsions électriques se déplaçant le long des axones.

Le DDT et les pyréthrinés sont des poisons axoniques (Tableau 7). Ils agissent en stimulant les cellules nerveuses de façon à provoquer des décharges répétées, décharges qui seront à l'origine des symptômes de convulsion et de paralysie chez les insectes atteints et qui, finalement, conduisent à leur mort. Le fait que le DDT et les pyréthrinés possèdent un mode d'action similaire n'est pas sans incidences sur les risques de résistance croisée, c'est à dire d'une résistance qui peut s'étendre aux deux types de produits simultanément.

Les insecticides organo-phosphorés et carbamates agissent, quant à eux, par inhibition de l'acétylcholinestérase. Cette enzyme a pour rôle de détruire le transmetteur chimique (l'acétylcholine) après qu'il se soit fixé sur la membrane post-synaptique. Si cela n'est pas réalisé, le transmetteur chimique continue à provoquer des impulsions au niveau de son site de réception, ce qui se traduira par des convulsions, la paralysie et finalement la mort de l'organisme intoxiqué.

L'inhibition de l'acétylcholinestérase se réalise de la façon suivante : tant les carbamates que les organo-phosphorés possèdent une structure qui présente des analogies avec le substrat normal, l'acétylcholine. Cette analogie est telle que l'insecticide en question peut se fixer sur le site actif de l'acétylcholinestérase mais contrairement au substrat il ne peut subir l'hydrolyse dans sa totalité. Dès lors, l'enzyme ne peut plus fonctionner et son substrat normal, l'acétylcholinestérase n'est plus neutralisée, avec les conséquences que l'on connaît. Ici aussi de nombreuses possibilités de résistances croisées existent vu qu'un nombre très élevé d'insecticides conventionnels fonctionnent suivant le même mécanisme.

La résistance des insectes aux insecticides constitue un des problèmes cruciaux résultant d'une utilisation irrationnelle des pesticides. Il s'agit en fait d'une conséquence directe des processus guidant l'évolution et reposant sur la sélection naturelle. Mais suite à l'utilisation intensive des pesticides, ces processus se voient accélérés de façon drastique et c'est ce qui est à l'origine des problèmes rencontrés. En effet, suite à un traitement insecticide, les insectes sensibles sont détruits, laissant la place à ceux qui sont génétiquement résistants. Ceux-ci se développent rapidement créant des déplacements dans les populations qui deviendront globalement de plus en plus résistantes si la pression de sélection se maintient. Les insecticides possèdent généralement une cible moléculaire bien précise (un certain type d'acétylcholinestérase, par exemple). On trouve donc d'autant plus facilement, au sein de la population, des individus caractérisés par des petites différences au niveau de ces cibles moléculaires les rendant moins susceptibles à l'action des produits. En outre, tous les insectes ne sont pas totalement démunis devant la présence d'insecticides. Certaines espèces sont naturellement résistantes à l'action de tel ou tel produit car elles possèdent des systèmes enzymatiques qui leur permettent de faire face. Ce sont, par exemple divers types d'estérases et d'oxydases qui peuvent détoxifier rapidement l'insecticide absorbé. De tels mécanismes de détoxification peuvent également s'amplifier auprès d'espèces sensibles et donner progressivement naissance à des souches résistantes.

Une résistance pourra donc survenir aisément et elle apparaîtra d'autant plus rapidement que le cycle de l'insecte est court (nombre élevé de générations par saison) et que la persistance du produit est élevée (pression de sélection importante).

Ce sera aussi le cas avec des produits non persistants mais appliqués fréquemment au cours d'une saison, ou saison après saison, sans alternance avec d'autres moyens de contrôle.

Ainsi, si en 1944 on ne comptait que 44 espèces d'insectes ayant montré de la résistance aux insecticides, très vite on a dénombré plusieurs centaines d'espèces et pas seulement dans le domaine agricole !

Une des raisons supplémentaires permettant d'expliquer l'amplification des problèmes de résistance provient du fait que l'on est confronté à des phénomènes de résistance croisée. En effet, DDT et pyréthrinoïdes de synthèse sont caractérisés par des modes d'action similaires. Une souche devenue résistante au premier pourra dans certains cas étendre sa résistance aux seconds. Il en va de même pour la résistance aux OP et carbamates puisque les deux familles possèdent la même cible et que les mêmes mécanismes de détoxification peuvent fonctionner pour ces produits.

En vue de mettre au point des stratégies anti-résistance, il est indispensable de disposer de tests permettant de diagnostiquer les causes des résistances observées. Ces tests permettront de faire la différence entre une résistance provenant d'une insensibilité à l'acétylcholinestérase et celle provenant d'une détoxification sous l'effet d'estérases et d'oxydases. Pour ce faire on peut réaliser des biotests avec divers insecticides en association avec des inhibiteurs spécifiques d'estérases et d'oxydases.

Les phénomènes de résistance interviennent également avec les fongicides, le cas le plus documenté étant celui de la résistance aux fongicides systémiques de la famille des benzimidazoles. Ces produits sont des fongicides systémiques qui empêchent la division cellulaire des cellules cibles des champignons (agents antiméiotiques).

Les antiméiotiques agissant sur un site bien défini, on a très rapidement assisté à l'apparition de souches résistantes suite à certaines modifications de la cible au niveau moléculaire (diminution de l'affinité pour la tubuline). Ainsi, vers la fin des années 80 plus des deux tiers des genres résistants répertoriés concernaient des résistances aux benzimidazoles et aux antibiotiques, produits unisites par excellence. Cette résistance est du type monogénique. En fait, les applications provoquent une augmentation du nombre de souches résistantes qui se développent en même temps que les souches demeurées sensibles (sélection disruptive). Ces souches résistantes sont compétitives et persistent; lorsque le taux de souches résistantes atteint certaines proportions, on assiste à une baisse d'activité drastique des traitements.

Les problèmes rencontrés dans la lutte contre l'oïdium et la pourriture grise sont particulièrement bien documentés dans le cas de la vigne, de la culture de fraises, des tomates, des cucurbitacées et aussi dans le domaine de la conservation post-récolte.

b) Stratégies anti-résistances

Des stratégies anti-résistantes plus ou moins sophistiquées ont été développées de façon à préserver le plus longtemps possible l'activité des pesticides actuellement disponibles. S'il est plus ou moins admis par tout le monde qu'une résistance aux pesticides est toujours à craindre et que personne ne peut proposer des produits miracles pour s'y opposer, il est tout aussi bien admis que le phénomène d'acquisition de résistance peut se gérer. En utilisant des stratégies appropriées, on peut non seulement éviter l'installation de résistances mais on peut aussi restaurer un niveau de sensibilité aux insecticides au sein de populations de ravageurs devenues résistantes suite à de mauvaises pratiques de contrôle.

Le Tableau 1 présente quelques exemples de résistances aux insecticides en cultures légumières en Chine avec les mécanismes impliqués. Ce type d'analyse



constitue la première démarche à réaliser afin de mettre au point une stratégie anti-résistance. Il faut, en effet, d'abord connaître en détail la situation telle qu'elle se présente et proposer des mesures en conséquence.

Les mécanismes de résistance étant connus, il convient d'examiner de façon critique les produits disponibles et de les classer en fonction de leur mode d'action et des risques spécifiques d'induction de résistance. Pour les acaricides, par exemple, on propose 6 classes différentes : (1) les organo-stanniques (fenbutatinoxyde, azocyclotin); (2) les ovolarvicides spécifiques (chlofentézine, hexythiazox); (3) les dérivés diphénylés (bromopropylate, dicofol); (4) certains pyréthrinoïdes (bifentrine, fenpropathrine, fluvalinate); (5) l'amitraz et (6) le pyridaben. On retrouve donc 4 des classes de produits que l'on a déjà évoquées dans le paragraphe consacré au moyen de lutte chimique conventionnels plus deux autres produits possédant un mode d'action spécifique. Pour les insecticides, il conviendra de bien distinguer les OP et carbamates, d'une part, des pyréthrinoïdes, d'autre part. En outre, on classera à part les IGRs, les pesticides microbiens et d'autres nouveaux produits à mode d'action particulier qu'ils soient du type conventionnel ou biorationnel.

TABLEAU 1 :
Niveaux de résistance et mécanismes impliqués en cultures légumières en Chine
 (Source : Tang, 1992)

Espèce	Insecticides	Niveaux de résistance (1)	Mécanismes impliqués (2)
Aphis gossypii	Pyréthrinoïdes OP, carbamates	X 223-520 X 13-81	oxydases AChE-R estérases
Pieris rapae	DDT OP	X 5-55 X 6-100	kdr AChE-R estérases
Plutella xylostella	DDT Pyréthrinoïdes Malathion	X <3 X 287-925 X 27-144	Kdr oxydases GST MCE

(1) Augmentation de la dose létale par rapport à une population sensible

(2) Les mécanismes impliqués font intervenir des réactions de détoxification des pesticides par oxydases, estérases et glutathione S-transférase (GST) qui sont des mécanismes non spécifiques et par Malathion Carboxyl Estérase (MCE) qui est un mécanisme de détoxification spécifique. En outre, on rencontre des modifications au niveau des cibles moléculaires (AChE-R = résistance par modification de l'AcétylCholinEstérase; kdr = Knock Down Resistance = modification de la cible moléculaire du DDT et des pyréthrinoïdes)

Le grand principe de base pour éviter l'installation d'une résistance est d'éviter d'exercer trop longtemps une pression avec un même insecticide ou avec plusieurs insecticides trop ressemblants en matière d'induction de résistance.

Pour ce faire il faudra donc :

- 1) changer de pesticide et alterner avec des produits appartenant à d'autres classes;
- 2) utiliser des coformulations ou des mélanges extratemporanés de pesticides différents (et appartenant à des classes différentes) ;
- 3) réaliser des rotations en mosaïque. Pour ce faire, on divise la région à traiter en différents secteurs qui seront chacun traités avec des produits différents. Ceci permet de détruire les individus résistants à l'insecticide utilisé dans le secteur A lorsqu'ils vont migrer vers le secteur B.

- 4) surveiller les signes d'apparition d'une résistance. Il est indispensable de repérer le plus tôt possible tout début de résistance. Pour ce faire on peut réaliser les observations au champ puis confirmer l'apparition d'une résistance au laboratoire et la caractériser par les tests ad hoc. Ces tests seront indispensables pour le choix d'un produit de remplacement.
- 5) ne réaliser les traitements que lorsqu'ils sont économiquement justifiés et avec des produits les plus sélectifs possibles pour épargner les ennemis naturels.

Dans le Tableau 2, on trouvera quelques exemples d'évolution du taux de résistance lorsque des mesures appropriées sont prises. Ainsi, on constate qu'en culture de coton une évolution très favorable de la situation a pu être observée dans l'ex-URSS entre la fin des années 70 et la fin des années 80. Cet exemple est très encourageant car il montre qu'une bonne gestion de la résistance permet non seulement de maintenir l'efficacité des insecticides utilisés de façon réfléchie mais aussi de remédier à des situations désastreuses, conséquences de certains excès commis dans le passé.

Ces stratégies anti-résistance raisonnées (qui prennent en considération l'ensemble des produits utilisables et leur mode d'action) sont également d'application dans le domaine des fongicides. C'est ainsi que l'on a associé souvent dans des programmes de traitements contre le *Botrytis* des benzimidazoles et des dicarboximides car ces produits agissent suivant des mécanismes différents. Dans certains cas, on a même exploité le fait que devenu résistantes aux benzimidazoles, certaines souches devenaient par la même occasion plus sensibles à d'autres produits comme certains carbamates (résistance croisée négative). Mais il faut bien reconnaître qu'actuellement le fin mot en matière de gestion de la résistance des champignons est d'associer un produit multisite à un produit unisite (voir lutte chimique conventionnelle). Ceci a réduit, dans certaines proportions, les espoirs un peu trop irréalistes que l'on a parfois placés dans l'emploi exclusif de certains fongicides curatifs (exemple : lutte contre le mildiou).

TABLEAU 2 :
Prévention et réversion de la résistance en culture de coton dans l'ex-URSS
(source : Sukhorochenko, 1992).

Ravageur	Insecticide	Niveau de la résistance	
		1977-1978	1986-1987
<i>Tetranychus urticae</i>	diméthoate	X 250	X 21
	phosalone	X 39	X 20
	dicofol	X 22	X 32
	propargite	X 4	X 0.7
	cyhexatin	X 1.7	X 14.5
<i>Aphis gossypii</i>	diméthoate	X 0.5	X 5.7
	phosalone	X 3.4	X 22
	ethiofencarbe	X 1.3	X 1
	pyrimicarbe	X 1	X 1
<i>Helicoverpa armigera</i>	DDT	X 97	X 7
	carbaryl	X 30	X 0.7
	phosalone	X 4	X 5
	endosulfan	X 1	X 2
	divers pyréthrinoïdes	X 1	X 0.1-0.3



Programmes de lutte intégrée compatibles avec une lutte chimique raisonnée

En matière de lutte chimique raisonnée, le maintien d'un système agricole durable doit donc prendre en ligne de compte les deux aspects importants que sont la gestion de la résistance et le respect des ennemis naturels. Il peut être utile de mentionner aussi que cette notion de système agricole durable doit s'inscrire dans un contexte plus élargi que celui des productions horticoles, car les conséquences d'une mauvaise gestion de la lutte chimique peuvent s'étendre à d'autres écosystèmes agricoles. Ainsi, dans certains pays comme l'Égypte, où cultures de coton et de gombo sont souvent associées dans une même exploitation, toute tentative d'instaurer en culture de coton des programmes de lutte intégrée faisant appel à des utilisations limitées de pesticides risque de tourner très rapidement à l'échec si l'on continue à traiter, avec des quantités massives de pesticides, les petites parcelles de gombo situées à proximité des champs de coton. En effet, certains ravageurs passent d'une culture à l'autre et peuvent acquérir une résistance aux pesticides si les traitements continuent à se faire de façon exagérée dans un de ces deux agrosystèmes.

De même l'utilisation des ressources biologiques naturelles, comme les prédateurs et parasitoïdes en tant qu'auxiliaires, doit parfois se raisonner dans un contexte plus large que celui de la parcelle ou de la serre vu que des échanges avec les cultures avoisinantes sont possibles et parfois à encourager (voir notamment le paragraphe sur la lutte intégrée en cultures sous abris).

Souvent la lutte intégrée peut se réaliser à l'échelle d'une région. C'est surtout le cas lorsque les maladies ou ravageurs que l'on doit combattre ont un développement qui dépend du climat. Dans d'autres cas, la lutte intégrée s'effectuera à l'échelle de l'exploitation voire de la parcelle (cas de ravageurs ubiquistes ou de systèmes de production en environnement contrôlé). De toute façon, il est fondamental de pouvoir prévoir l'apparition de problèmes phytosanitaires, d'en suivre l'évolution et de connaître le stade précis qui nécessitera le recours aux mesures de contrôle. C'est pour cela que se sont développés de nombreux systèmes de surveillance et d'avertissement avant le déclenchement de l'intervention.

a) Seuils d'intervention et systèmes d'avertissement

On a déjà mentionné précédemment (voir stratégies anti-résistance) combien il est important de connaître le seuil économique d'intervention, c'est à dire le niveau de dégâts supportables qui ne justifie pas un traitement. Il est évident que l'on ne peut préciser ces seuils d'interventions car ils dépendent d'un grand nombre de facteurs, comme la situation locale (disponibilité des moyens de lutte appropriés), le contexte économique du moment (prix des légumes), le stade la culture (en fin de culture on peut prendre plus de risques qu'en début de culture), les spécificités du ravageur ou de la maladie (risques de perdre le contrôle si le développement n'est pas enrayé dès le départ), les possibilités de lutte naturelle, etc...

Néanmoins, ces seuils d'intervention peuvent être déterminés compte tenu des spécificités locales, même s'ils doivent être proposés avec une fourchette de variation qui tiendra compte de certaines contingences liés à l'état du marché, la saison de production, etc... Ainsi, pour la lutte contre la noctuelle de la tomate (*Helicoverpa armigera*) au Burkina Faso, il est proposé comme seuil d'intervention la présence de 2,9 % de fleurs et fruits attaqués si la lutte chimique retenue s'opère par pulvérisation de deltaméthrine.

Pour aider à bien déterminer le seuil d'intervention, on a parfois recours à des captages du ravageur visé au moyen de pièges élémentaires (cuvette contenant une solution de formol pour capturer les insectes du sol, panneaux enduits de glu, pièges lumineux,...) ou au moyen de pièges plus sélectifs comme les pièges à phéromones. Les relevés ainsi obtenus sont enregistrés à périodes fixes et lorsqu'un taux d'insectes capturés est atteint on lance un avertissement ou on déclenche les traitements.

Dans d'autres cas, un examen minutieux et régulier de la culture sera nécessaire. Ainsi, en culture de tomates sous serre, il est indispensable d'effectuer les traitements avec les biopesticides dès que les premières pontes de *Helicoverpa armigera* ont été détectées. Pour ce faire, il faudra examiner plus particulièrement les feuilles supérieures des plants, c'est à dire celles situées entre le bourgeon terminal et le premier bouquet en cours de nouaison. Les traitements seront déclenchés dès que les premiers oeufs seront détectés dans une serre. On peut aussi installer des plantes pièges (par exemple des tomates) à l'extérieur de la serre. Ces plants seront atteints plus rapidement, ce qui peut alerter le maraîcher d'un danger imminent pour les cultures sous serre.

Pour certaines maladies dépendant étroitement de l'évolution du climat (comme par exemple, le mildiou de la pomme de terre), on peut aussi enregistrer au jour le jour les paramètres clé comme la température, la pluviosité, l'hygrométrie, ... Il existe des modèles qui, se basant sur ces données plus d'autres facteurs comme la variété choisie, la date de semis et les traitements déjà réalisés, vont permettre de déterminer le moment opportun d'intervention.

La détermination des seuils d'intervention et la mise au point de méthodes permettant de déterminer ceux-ci avec la meilleure précision, constituent probablement le moyen le plus efficace de supprimer les traitements inutiles et d'instaurer les bases élémentaires de la lutte intégrée. Il est à remarquer que les études requises doivent impérativement être réalisées pour chacune des situations particulières car les extrapolations sont risquées. Ce sont des travaux qui demandent beaucoup d'observations systématiques sur le terrain et qui demandent énormément de précisions quant à la nature des paramètres observés et la description du milieu concerné. Ce sont aussi des études qui doivent être réalisées de façon concertée avec les responsables de la production, des traitements mais aussi avec les phytopathologistes et les entomologistes. Mais le résultat attendu est de taille car il permettra de constituer les fondations d'un édifice stable et équilibré, celui de la lutte intégrée.

La définition des seuils d'intervention est chose relativement aisée dans les cultures sous serre où l'on travaille souvent dans un climat contrôlé et dans milieu isolé de l'extérieur. En culture de plein champ il est bien plus difficile d'établir des seuils d'intervention car un grand nombre de facteurs non contrôlables influencent le développement des ennemis des cultures.

b) Utilisation raisonnée des produits chimiques

D'après les différentes enquêtes réalisées dans 17 pays africains, enquêtes présentées au cours de l'Atelier FAO sur le développement et l'application de la lutte intégrée en cultures légumières (Dakar, 23-30 Novembre 1992), il est apparu que la lutte chimique est actuellement mal utilisée. En effet, lorsque les maraîchers peuvent se permettre l'achat de pesticides (ce qui est loin d'être généralisé), on constate :

- qu'il y a une tendance à appliquer les pesticides plus souvent que nécessaire ;
- que les applications ne se font pas en fonction des observations du développement des maladies et des ravageurs, mais suivant un calendrier pré-établi et avec un mélange «d'assurance tous risques» comprenant insecticides et fongicides non sélectifs ;
- que les modalités d'application laissent à désirer et que les précautions et avis mentionnés sur l'étiquette ne sont pas assez pris en considération (délai avant récolte, dose d'application, gestion des restes de produits, etc...).
- que les maraîchers ont tendance à utiliser les produits disponibles (dons, produits pour la lutte anti-acridienne, formulation «coton» de molécules) plutôt que des produits bien appropriés à leur situation.
- que beaucoup de maraîchers travaillent avec les moyens du bord ne convenant pas pour des produits dangereux ou nécessitant une application soignée (ex. :



poudrage avec boîtes perforées, application de granulés à la main, pulvérisateurs à dos fuyant de toute part, mauvais recouvrement de la végétation dû à l'usure des buses de pulvérisation, etc...).

Dans ces conditions il n'est pas surprenant que différents ravageurs ou maladies des cultures horticoles aient développé des résistances dans plusieurs pays d'Afrique. Le Tableau.3 donne un aperçu sur les résistances à divers pesticides telles qu'elles ont été signalées par divers responsables de la protection phytosanitaire en Afrique.

TABLEAU 3
Résistances aux pesticides signalées dans divers pays d'Afrique

Ravageur ou maladie	Pesticide	Pays où la résistance a été signalée
Phytophthora infestans	métalaxyl	Kenya, Zimbabwe
Tetranychus spp.	Dicofol diméthoate malathion	Zimbabwe, Kenya, Sénégal, Zimbabwe Sénégal
Bemisia tabaci	deltaméthrine diméthoate fénitrothion malathion	Zimbabwe, Kenya, Tanzanie Tanzanie Tanzanie
Helicoverpa armigera Liriomyza, trifolii	organo-phosphorés Perméthrine méthamidofos	Zimbabwe Kenya Zimbabwe
Ophiomyia phaseoli	diazinon	Zimbabwe
Plutella xylostella	endosulfan	Kenya, Tanzanie, Sénégal
	malathion	Tanzanie, Kenya, Zimbabwe
	fénitrothion	Tanzanie
	diméthoate	Tanzanie
	pyréthrinoïdes	Sénégal
Pucerons	organo-phosphorés	Sénégal
	carbamates	Sénégal
	malathion	Zimbabwe

On peut faire remarquer que les résistances sont surtout signalées pour des arthropodes et seulement une seule fois pour un champignon. Ceci peut s'expliquer par le fait que les fongicides les plus utilisés sont les produits multisites préventifs qui n'induisent pas de résistances. Quant aux insectes, les cas de résistance sont probablement beaucoup plus nombreux que ceux mentionnés dans ce tableau, mais bien souvent les cas ne sont pas étudiés ni répertoriés ou concernent des régions limitées. C'est ce qui explique probablement aussi pourquoi il n'y a qu'un petit nombre de pays qui ont signalé des cas de résistance.

La résistance n'est pas la seule cause de perte d'efficacité des pesticides. Ainsi, pour de nombreux insecticides et nématicides appliqués au sol et appartenant aux familles chimiques des carbamates et O.P., des pertes d'efficacité peuvent résulter d'une dégradation accélérée des pesticides. Cette dégradation accélérée survient pour certains produits lorsqu'on les applique plusieurs fois de suite sur le même terrain. Dans ce cas, il peut y avoir adaptation de la microflore qui les dégradent tellement rapidement qu'ils ne sont plus capables d'exercer leur action insecticide ou nématicide. Exemple : Furadan trop souvent utilisé en tant que nématicide au Sénégal.

Par ailleurs, il ne faut pas perdre de vue que certains produits se conservent mal, surtout en climat chaud. Or beaucoup d'entre eux sont trop souvent stockés dans des conditions inadéquates. Ceci peut être un élément crucial pour maintenir l'efficacité de préparations moins stables, c'est le cas tout particulièrement pour de nombreux biopesticides.

c) Préserver les auxiliaires utiles

Si l'on veut tirer parti des auxiliaires utiles et éviter la résurgence des ravageurs secondaires qui sont souvent contrôlés de façon naturelle, il est indispensable de ne plus traiter à l'aveugle suivant un calendrier pré-établi, ni avec des pesticides polyvalents (du moins dans le cas de la protection contre les insectes et les acariens).

Il faudra donc réaliser des observations au niveau de la parcelle, ou disposer de systèmes d'avertissement, afin de déterminer si le seuil d'intervention est atteint. Ce n'est que lorsque ces conditions sont remplies que les traitements chimiques seront réalisés. Au Burkina Faso, il a été constaté que si les traitements contre *Helicoverpa armigera* s'effectuaient en tenant compte d'un seuil d'intervention (évalué à 2,9 % comme mentionné dans un des paragraphes précédents), deux traitements au lieu de six s'avéraient nécessaires tout en maintenant les dégâts à un maximum de 3,7 % (contre 18,5 % en absence de traitement). Il est bien sûr regrettable que le produit utilisé (deltaméthrine) ne soit pas plus sélectif sinon on aurait à coup sûr un effet très favorable au niveau des auxiliaires utiles. Déjà ainsi, cependant, l'effet peut être appréciable car on reculera la date de la première intervention, ce qui est également très bénéfique pour augmenter l'impact des ennemis naturels.

Le seuil d'intervention étant connu, il convient d'utiliser les pesticides les plus sélectifs possibles. Le Tableau 4 nous donne quelques indications sur le niveau de sélectivité que l'on peut attendre des produits les plus courants utilisés en culture. Il est à remarquer que la sélectivité joue à deux niveaux puisqu'il faut, d'une part, choisir le produit présentant une bonne efficacité à l'égard du ravageur à combattre tout en étant, d'autre part, le moins dangereux possible pour les auxiliaires susceptibles de jouer un rôle dans la protection phytosanitaire.

Pour ce qui est des fongicides, la compatibilité avec les auxiliaires utiles est généralement moins problématique. A signaler toutefois, les benzimidazoles, le binapacryl, le dinocap et les dithiocarbamates qui ont un effet toxique sur certains acariens prédateurs du genre *Typlodromus*. Les benzimidazoles sont également connus pour leur toxicité à l'égard des vers de terre, ce qui pourrait avoir à terme une influence défavorable sur la fertilité du sol. Par contre, on ignore souvent que des fongicides peuvent avoir un effet secondaire très favorable utile en lutte intégrée. Ainsi, le soufre a un effet acaricide surtout par temps chaud, le chinométhionate (produit anti-oïdium) aide au contrôle des aleurodes et des tétranyques tout en étant compatible avec l'utilisation d'*Encarsia*. Le pyrazophos (un autre fongicide anti-oïdium) permet de détruire sélectivement environ 60 % des larves de mineuses des feuilles en culture de tomates.

Il faut, toutefois, bien réaliser que des pesticides non sélectifs peuvent aussi être utilisables même en lutte intégrée. Le principe est alors de réaliser une application sélective soit en raisonnant la période d'intervention (l'auxiliaire que l'on veut préserver n'est pas nécessairement présent tout au long de la saison culturale) soit en raisonnant la méthode d'application. L'utilisation d'appâts empoisonnés est l'exemple type d'une utilisation ciblée d'un pesticide peu sélectif.

Il existe ainsi toute une série de techniques particulières qui permettent de limiter les effets secondaires des pesticides sur les auxiliaires. C'est ainsi que le méthomyl peut être appliqué avec plus de sécurité dans le système d'irrigation au goutte à goutte dans des programmes de lutte intégrée en cultures sous serre. Plusieurs produits systémiques peuvent aussi être appliqués en traitement de semences avec une bonne protection contre les insectes suceurs-piqueurs pendant les premières semaines de la période de végétation (stade pépinière).



Tableau 4 : Sélectivité de quelques insecticides à l'égard de ravageurs (PUC = pucerons ; THR = thrips ; CHE = chenilles ; CCH = cochenilles ; et à l'égard d'auxiliaires (CCI = coccinelles ; SYR = syrphes ; CHR = chrysopes ; HYM = hyménoptères ; ACA = acariens prédateurs)

Insecticide	Ravageur (1)		Auxiliaire (1)							Toxicité (2)	Délais (3)			
	PUC	THR	CHE	CCH	CCI	SYR	CHR	PUN	HYM			ACA		
O.C.														
lindane	(+)	(+)	(+)		-	-	(-)	-	(-)	-	-	-	1.8	
endosulfan	(+)	(+)	(+)		(-)	-	(-)	(-)	(-)	-	-	-		
O.P.														
acéphate	+	(+)	+		-	-	-	-	(-)	(-)	(-)	(-)		5
diazinon	(+)	(+)	(+)		(-)	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		1
dichlorvos	(+)	(+)	(+)		(-)	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	2.6	
diméthoate	(+)	(+)	(+)		(-)	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	1.0	
éthiofencarbe	(+)	(+)	(+)		(-)	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
fénitrothion	(+)	(+)	(+)		-	?	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
fenthion	(+)	(+)	(+)		-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
méthamidophos	+	(+)	(+)		-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		5
méthidathion	(+)	(+)	(+)		-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	1.8	
phosalone	(+)	(+)	(+)		-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
carbamates														
méthomyl	(+)	(+)	(+)		-	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		5
pyrimicarbe	+	(+)	(+)		-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	1.8	1
pyréthrinoides														
cyperméthrine	(+)	(+)	(+)		-	?	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	2.5	
deltaméthrine	(+)	(+)	(+)		-	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	2.8	15-25
fenvalérate	(+)	(+)	(+)		-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	2.5	
fluralinate	(+)	(+)	(+)		-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
IGRs														
diflubenzuron	(+)	(+)	(+)		(-)	?	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
téflubenzuron	(+)	(+)	(+)		(-)	?	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		
fénoxycarbe	(+)	(+)	(+)		(-)	?	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		

(1) ravageurs et auxiliaires présents dans les vergers (ACTA, 1989)(+ détruit le ravageur ; - ne respecte pas l'auxiliaire)

(2) classes de toxicité des pesticides à l'égard des arthropodes utiles (SUKHOROCHENKO, 1992)

(3) délai (en jours) avant de pouvoir réaliser un lâcher d'auxiliaires (FOURNIER et al., 1992)

Annexe 11 – Les cultures sous abris et les cultures hors sol

Les cultures sous abris et les cultures hors sol constituent deux systèmes de culture parmi les plus sophistiqués dans lesquels la protection phytosanitaire peut se réaliser de façon très différente de ce qui est la coutume dans les systèmes de cultures en pleine terre. C'est pourquoi on consacrerà ce chapitre à la description de quelques techniques spécifiques qui ont été développées pour la protection phytosanitaire dans ces systèmes de production particuliers.

Sont considérées comme cultures abritées, celles qui bénéficient d'une structure de protection spécifique qu'elle soit rigide et imposante, comme les cultures sous verre, ou au contraire, flexible et légère, comme dans le cas des cultures sous abri plastique. Pour ce qui concerne les zones de production dans le contexte africain soudano-sahélien, ce serait surtout ce dernier système qui pourrait être rencontré car il est mieux adapté aux conditions climatiques, au degré de technicité des entreprises horticoles que l'on peut trouver dans ces régions, ainsi qu'aux niveaux de prix de vente des légumes.

L'abri plastique peut être constitué d'unités de dimensions réduites, comme les tunnels. Ce type d'abri diffère sensiblement de certaines entités plus vastes que sont, par exemple, les abris canariens rencontrés dans divers pays méditerranéens. Dans ce dernier cas, on rencontre des structures pérennes qu'il est impossible de déplacer et qui présentent des caractéristiques comparables à celles des serres rigides, du moins sur le plan de la protection phytosanitaire et de la désinfection du sol.

Les cultures hors sol font un pas de plus vers l'affranchissement par rapport aux contraintes naturelles puisque, non seulement on bénéficie d'un abri permettant plus de libertés eu égard au climat, mais qu'en outre on cherche à se démarquer des contraintes liées au sol. Pour ce faire, on aura recours soit à des substrats renouvelables après chaque saison culturale (cultures en sacs, en containers), soit à des systèmes plus sophistiqués dans lesquels la nutrition de la plante se réalisera par renouvellement continu de la solution nutritive (cultures hydroponiques avec ou sans substrat)

Pour ces systèmes de cultures particuliers, il faudra disposer de techniques permettant de désinfecter soit le sol, soit le substrat, soit, encore, la solution nutritive, elle-même.

Pour un ensemble de raisons diverses liées notamment aux difficultés techniques qui résultent d'une utilisation intensive de pesticides (résistance) et à l'importance croissante que les consommateurs accordent aux légumes sains en Europe et aux USA, il est apparu indispensable d'intégrer la lutte biologique à ces systèmes de production de légumes. C'est pourquoi, un paragraphe particulier sera consacré à la lutte biologique en cultures protégées.

La désinfection du sol et des substrats

a) La désinfection chimique du sol

Les problèmes phytosanitaires liés au sol constituent l'entrave la plus importante au développement des cultures abritées et il n'est pas rare de rencontrer des exploitations qui doivent faire face à des problèmes insurmontables en raison de trachéomycoses, de bactérioses ou d'infestations de nématodes. Or bien souvent



l'allongement de la rotation n'est quasi pas possible dans ces systèmes de cultures intensifs et il faut donc compter avec les possibilités qu'offrent d'autres méthodes de lutte comme, par exemple, la résistance variétale.

L'utilisation de la résistance variétale connaît ses limites (voir chapitre IV : mesures phytotechniques) et il est donc important de pouvoir faire appel à d'autres moyens de lutte, notamment lorsque l'on a à faire à un pathogène contre lequel il n'existe pas encore de variétés résistantes (exemple : *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* en culture de tomates). Le traitement chimique du sol avec des fumigants a déjà été abordé précédemment (voir annexe 2 ; pratiques culturales au niveau de la pépinière). Cette technique est coûteuse (de l'ordre de 2.700 US \$ par ha pour une fumigation au bromure de méthyle) et est limitée à des exploitations ou entreprises possédant un niveau de technicité relativement élevé. En outre, il faut l'associer à d'autres mesures prophylactiques, comme la désinfection des structures de serres et de matériel de culture, sans quoi le pathogène risque de se réintroduire trop facilement.

En outre, de plus en plus d'obstacles s'élèvent devant le développement exagéré de ces fumigants : outre les problèmes de toxicité immédiate, qui peuvent être surmontés grâce à un équipement *ad hoc*, il faut noter la présence de risques à plus long terme résultant de l'accumulation de résidus bromés dans les récoltes. Ces résidus sont liés à l'utilisation du bromure de méthyle, fumigant le plus répandu. Ces résidus s'accumulent surtout lorsque la fumigation est opérée à cadence élevée, or ces cadences élevées sont parfois nécessaires, car un sol fumigé est souvent plus sensible qu'un sol qui ne l'a jamais été et donc la recolonisation par les organismes nuisibles s'y opère plus rapidement. On constate donc que, si on n'y prend garde, on peut rapidement arriver à un cercle vicieux présentant peu d'intérêts tant pour l'horticulteur (dépenses élevées) que pour les consommateurs de légumes (résidus de brome). C'est pourtant devant des situations de ce type que ce sont retrouvées certaines exploitations de cultures intensives sous serres, en Hollande notamment. Des mesures ont dû être prises pour limiter l'utilisation des fumigants ou du moins les utiliser de façon plus parcimonieuse (en 1988, aux Pays-bas, on utilisait plus de 100 kg de fumigants par hectare).

A cela est venu s'ajouter le protocole de Montréal, limitant la production et *a fortiori* l'utilisation de certains de ces gaz fumigants (dont le bromure de méthyle) qui sont accusés de diminuer la teneur en ozone de la stratosphère. Pour réduire le volume global des fumigants utilisés (bromure de méthyle, dichloropropène, isocyanate de méthyle, chloropicrine), on a d'abord pensé à améliorer les méthodes d'applications. On peut, en effet, facilement limiter les fuites et la volatilisation en améliorant la couche de protection plastique (couverture multicouche). La réduction des pertes peut déjà atteindre 80 % par ce moyen. On peut encore aller plus loin en associant au fumigant un autre gaz, inerte tant du point de vue biologique que sous l'angle de la protection de la couche d'ozone. Ce mélange permettra une meilleure diffusion dans le profil du sol et s'accompagnera d'une activité biocide accrue pour le fumigant proprement dit.

On dispose aussi de certains produits de substitution aux fumigants puisqu'il existe des préparations solides ou liquides, à base de dazomet ou de métam-sodium, qui libèrent progressivement un gaz actif après incorporation de ces préparations dans le sol.

b) les traitements physiques du sol et des substrats

La désinfection à la vapeur des sols et des substrats est plus séduisante que le traitement aux fumigants car elle ne présente pas les inconvénients écotoxicologiques de ces derniers. L'inconvénient de cette technique provient de son coût élevé, directement lié au prix de l'énergie.

Une variante de la désinfection à la vapeur s'adapte particulièrement bien aux cultures protégées bénéficiant de systèmes de drainage. Dans ce cas, on applique sur celui-ci une pression négative (par succion), ce qui permet une rapide et bonne distribution de la vapeur dans l'ensemble de la couche de sol à traiter.

Les substrats inertes (laine de roche, mousses de polyuréthane) utilisés en cultures hydroponiques peuvent également être traités à la vapeur en vue de leur réinsertion dans un nouveau cycle de production. Dans ce cas, on dispose les substrats sur des palettes qui seront introduites dans des installations spécifiques pour le traitement à la vapeur. On peut également procéder à des manipulations similaires pour effectuer des traitements par micro-ondes. Les substrats naturels comme la tourbe peuvent également être recyclés grâce à ces procédés.

Une autre technique plus à la portée des horticulteurs des régions chaudes est la solarisation à l'intérieur des serres. A cette fin, on place sur le sol préalablement humidifié une bâche de polyéthylène transparent (épaisseur 50-80 microns) pendant 2-3 mois au cours de la période la plus chaude de l'année. L'augmentation de température doit permettre de stériliser partiellement le sol et de réduire l'incidence de plusieurs types de maladies (fusariose, *Rhizoctonia solani*, la maladie des racines liégeuses de la tomate,...). Cependant cette technique n'a pas une efficacité absolue et devra être intégrée dans un ensemble de mesures de protection phytosanitaire, comme la rotation et l'utilisation de variétés tolérantes.

c) La désinfection des solutions nutritives

Dans les cultures sur substrat on utilise de grandes quantités de solution nutritive, souvent en large excès par rapport aux besoins de la plante. Dès lors, une bonne partie est gaspillée (perte économique) et est à l'origine d'une nouvelle charge sur l'environnement (rejets à l'égout : pollution des eaux de surface, déversement sur le sol : pollution des eaux souterraines). C'est pourquoi, de plus en plus, on impose de recycler les solutions nutritives qui, utilisées en circuit fermé, doivent être désinfectées afin d'éviter la propagation de divers agents pathogènes (fusarioses, *Pythium*, *Phytophthora*, maladies bactériennes, etc ...).

La désinfection de la solution nutritive peut se faire par filtration. Pour éliminer les bactéries et champignons on se contente de la micro-filtration (pores de 0.1 à 10 microns de diamètre) tandis que pour éliminer les virus on doit avoir recours à l'ultra-filtration (pores de 0.001 micron de diamètre). Il va de soi que ces techniques de filtration demandent un entretien constant et vigilant, les filtres pouvant se colmater avec les nombreuses particules véhiculées dans la solution nutritive.

Les rayonnements U.V. ont une action germicide dont l'optimum se présente pour des longueurs d'onde proche de 250-270 nm. Ces rayons U.V. de courte longueur d'onde vont provoquer des réactions chimiques de dimérisation entre deux molécules de thymine, de formation d'hydrate à partir des bases pyrimidiques, de dénaturation du double brin d'ADN. En conséquence, la division cellulaire sera bloquée. En pratique, on installe des lampes U.V. spécialement développées pour cet usage sur le passage de la solution nutritive. L'appareillage en question doit permettre d'apporter une dose de rayons pendant un temps déterminé et sur une épaisseur de liquide appropriée.

L'ozonisation est utilisée depuis longtemps pour la désinfection des eaux de boissons, des piscines, etc... L'ozone (O₃) est un puissant oxydant et est produit en horticulture en envoyant une décharge électrique continue dans un gaz riche en oxygène. Aux Pays-Bas, on a pu démontrer l'utilité de cette technique pour la destruction des agents phytopathogènes en un temps relativement court. Il faut attirer l'attention sur le fait que l'ozonation a également un effet sur la décomposition des matières organiques accompagnant la solution nutritive, y compris les pesticides volontairement ajoutés pour la protection phytosanitaire



Depuis Pasteur, on sait qu'un traitement à la chaleur peut éliminer certains germes sensibles et il existe donc des appareils de traitement des solutions nutritives basés sur ce principe. Pour ce faire, ils réalisent un réchauffement rapide à 95°C durant 30 secondes. Ces appareils sont actuellement commercialisés aux Pays-Bas.

Si de nombreuses recherches sont menées actuellement en matière de recyclage et de désinfection de solutions hydroponiques, il faut toutefois bien réaliser que peu de solutions sont actuellement proposées aux horticulteurs et qu'il faudra attendre les années 2 000 avant que ces techniques ne se répandent vraiment à grande échelle.

d) la lutte microbiologique

Des mesures alternatives basées sur la lutte microbiologique ont été proposées et ont connu des succès mitigés dans la pratique. Elles ont néanmoins le mérite d'exister et d'avoir atteint un stade de commercialisation. On peut donc s'attendre, dans un avenir proche, à de nouvelles extensions de ces techniques suite aux améliorations que l'on y apporte tous les jours grâce aux expériences accumulées.

C'est certainement le cas pour une préparation à base d'*Arthrobothrys irregularis* («S350» ou «Nematus») qui est un champignon capable de limiter le développement des *Meloidogyne* en les prenant littéralement au lasso et les étranglant de leur filaments mycéliens gluants. D'autres préparations à base de champignons ovocides ou producteurs de spores collantes sont à l'étude. Il est important de noter qu'avant de pouvoir être appliquées sous toutes les latitudes, ces techniques doivent d'abord être expérimentées en profondeur afin de vérifier si les espèces sélectionnées sont réellement adaptées aux conditions écologiques régionales.

C'est également le cas pour certaines préparations de *Fusarium* non pathogènes que l'on peut ajouter aux sols ou aux substrats de cultures pour limiter la gravité de fusarioses qui ne peuvent être combattues par le biais de la résistance variétale. Ce dernier mode de lutte n'en est encore qu'à un stade expérimental et il en est de même pour d'autres formes de lutte à l'aide d'antagonistes comme les *Trichoderma* et *Pseudomonas*. Les *Trichoderma* présentent un intérêt tout particulier du fait qu'ils sont de bons saprophytes, ce qui accroît leur potentiel de survie dans des milieux concurrentiels et facilite leur production à grande échelle. En outre, ils ont un spectre d'action relativement large incluant nombre de champignons du sol comme les *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, etc...

Dans un registre un peu différent, on peut évoquer des travaux réalisés sur les mécanismes de prémunition des plantes. Ainsi, des boutures de patate douce peuvent être trempées dans une suspension de conidies d'un *Fusarium* non pathogène. Celui-ci est, en effet, capable de coloniser le système vasculaire de la plante et de s'opposer ainsi à son envahissement par une souche pathogène.

On peut, toutefois, se poser la question de savoir à quel avenir sont promises ces méthodes de lutte alternatives et surtout dans quelle mesure il sera possible de produire massivement ces organismes antagonistes et d'en assurer la conservation, la commercialisation ainsi que la distribution, notamment en Afrique.

La préférence devra probablement être accordée aux techniques basées sur des traitements en pépinières (éventuellement chez des producteurs spécialisés), traitements qui peuvent s'avérer aussi efficace que des traitement de pleine terre. Non seulement la quantité d'inoculum pourrait être réduite par rapport à un traitement en pleine terre mais, en outre, l'opération pourrait être centralisée dans quelques exploitations spécialisées, ce qui faciliterait les problèmes de commercialisation. Un problème similaire et une solution analogue pourraient être proposés en matière de lutte contre les nématodes au moyen de produits chimiques appliqués dans la motte de plantation. Ceci également pourrait se réaliser dans des exploitations spécialisées dans la production de plants et qui pourraient parfaitement maîtriser ces techniques de traitement.

La lutte intégrée en cultures sous abris

a) Exemples de pratiques culturales spécifiques aux cultures sous abri

La structure des serres aura une influence prépondérante surtout dans les régions plus chaudes, comme dans les divers pays méditerranéens, où la serre ne peut pas être considérée comme étant un écosystème isolé. Les abris possédant une structure en bois sont particulièrement exposés à des infestations hâtives car les ouvertures sont peu hermétiques et, en outre, des déchirures apparaissent lorsque le plastique devient plus âgé. Il a été observé en Espagne que toutes les ouvertures de ce type pouvaient favoriser l'introduction d'aleurodes et de mineuses adultes. Ces migrations sont très redoutables vu que ces ravageurs sont susceptibles de survivre à l'état adulte pendant toute l'année, ce qui n'est pas le cas dans les régions plus froides d'Europe. Pour y pallier, on peut colmater les ouvertures et les déchirures avec des toiles synthétiques non tissées du type Agryl.

Une autre possibilité de réduire les invasions venues de l'extérieur est de veiller à maintenir les abords des serres très propres car de nombreuses espèces d'adventices communes comme le *Convolvulus arvensis*, *Sonchus oleraceus*, *Euphorbia amygdaloïdes*,... peuvent abriter oeufs, nymphes et larves d'aleurodes pendant toute l'année. C'est pourquoi, on recommande de désherber une zone de 10 m autour des serres un à deux mois avant la transplantation. Ce désherbage ne peut en aucun cas s'opérer au moment de la transplantation ou après, sinon c'est l'effet inverse qui se produira : les adultes se réfugieront sur la culture !

L'hygiène est également de rigueur à l'intérieur des serres où adventices et repousses de cultures précédentes seront supprimées au moins un mois avant l'implantation d'une nouvelle culture. Le sol sera labouré sur au moins 20 cm afin d'enterrer les pupes de mineuses, surtout si la dernière culture d'automne (en climat méditerranéen) était infestée. A la fin de la saison culturale tous les restes des plantes seront soigneusement enlevés ou détruits (compostage en un endroit éloigné des serres ou incinération) et il en est de même pour les parties végétales enlevées en cours de culture (plantes attaquées, produits de l'effeuillage, etc...). Les opérations de taille et d'égourmandage seront poursuivies jusqu'à la fin de la culture même si l'intérêt économique est moins évident car il faut éviter d'attirer les ravageurs adultes.

Une bonne ventilation est indispensable pour éviter les excès d'humidité et les maladies cryptogamiques et bactériennes. Les ouvertures latérales seront dégagées pendant les heures chaudes pour éviter la surchauffe (fatale aux ennemis naturels) et les condensations favorisant les maladies. L'étanchéité des gouttières a également son importance car beaucoup d'attaques bactériennes débutent aux endroits des fuites d'eau.

On évitera la surfertilisation azotée qui provoque une croissance excessive et on enlèvera les gourmands afin que la plante ne soit pas attrayante pour les adultes d'aleurodes et de mineuses.

b) Lutte biologique contre les insectes et acariens : cas des cultures protégées dans la zone méditerranéenne

C'est dans les cultures sous abris que la lutte biologique connaît ses plus jolis succès. Il faut bien distinguer la lutte naturelle de la lutte biologique. Dans ce dernier cas, on a recours à des organismes introduits dans l'écosystème, ou manipulés de façon à contrôler les insectes déprédateurs. Les cultures sous abris procurant un espace limité et contrôlé, il est normal que c'est dans ce type de culture que la lutte biologique s'est montrée la plus performante.



Il existe trois modes d'introduction d'un agent de contrôle biologique :

- (1) l'inoculation en vue de l'acclimatation. Cette technique est utilisée en contrôle biologique classique mais n'est pas adaptée aux serres du fait que celles-ci connaissent des moments d'arrêt de production ;
- (2) le lâcher inondatif d'ennemis naturels permet d'obtenir un contrôle immédiat. On peut parler dans ce cas d'un traitement à l'aide d'un insecticide biologique, voir paragraphe consacré à la lutte microbiologique dans le chapitre V) ;
- (3) enfin, on peut réaliser des lâchers inondatifs saisonniers d'ennemis naturels. Cette dernière technique est censée procurer un contrôle immédiat. Un développement ultérieur de ces populations bénéfiques sera encouragé de façon à pouvoir prolonger le contrôle tout au long de la saison culturale. Ce type de lutte s'effectue avec des espèces prédatrices ou parasites des insectes à contrôler.

Divers auxiliaires (*Encarsia formosa*, *Phytoseiulus persimilis*, *Diglyphus isaea*,...) sont introduits en cultures sous abris de cette manière. Il faut préciser que des échecs peuvent survenir lorsque la serre n'est pas suffisamment hermétique, lorsque des pesticides non respectueux des auxiliaires sont utilisés par le maraîcher ou lorsque les conditions de températures ne sont pas optimales ou encore lorsque la qualité des auxiliaires fournis n'est pas satisfaisante. A ce propos, il est bon de préciser que ces auxiliaires sont produits en masse et commercialisés par des firmes spécialisées qui, pour des raisons commerciales évidentes, ont tout intérêt à procurer un matériel de très bonne qualité avec une expertise technique de haut niveau.

Ainsi, l'hyménoptère *Encarsia formosa*, parasite des aleurodes, est introduit dans les serres à raison de 4 à 20 individus par m². On effectue le premier lâcher lorsque l'on peut dénombrer 1 à 2 adultes d'aleurode par plante et 8 à 10 individus au stade nymphal sur les feuilles.

Un nombre plus important de lâchers serait nécessaire en climat méditerranéen vu que l'on a à faire à des systèmes partiellement ouverts. Ceci complique un peu les modalités d'utilisation de cette méthode biologique dans ces régions. En Sicile, on commence les lâchers dès que l'on note 0.5 adulte d'aleurode par plant mais il faudra effectuer régulièrement de nouveaux lâchers de pupes d' *Encarsia formosa* en nombre équivalent au double de celui des aleurodes dénombrés dans la serre. Dans divers programmes de lutte intégrée en Espagne, le nombre d'auxiliaires introduits par plante varie de 0,25 à 7 avec une moyenne de deux par plante.

Aussi, des pièges gluants jaunes peuvent-ils être installés afin de procéder à des captages massifs en cas d'augmentation trop rapide du nombre d'aleurodes mais leur efficacité est contestée en systèmes partiellement ouverts car il semble qu'ils puissent avoir pour effet d'attirer les aleurodes de l'extérieur. Dans ce cas, il sera nécessaire de les disposer de façon telle qu'ils ne soient pas visibles de l'extérieur (C'est à dire : entre les rangs et pas trop surélevés).

L'acarien *Phytoseiulus persimilis* est un prédateur des tétranyques particulièrement efficace en cultures de cucurbitacées et aubergine et il est produit en masse pour cette utilisation en lutte biologique. Les facteurs limitant son activité sont une chute de l'hygrométrie et une diminution de la température. En tomates, son utilité est moindre à cause de la présence des poils gluants qui inhibent le développement de cet auxiliaire.

Les lâchers doivent s'effectuer lorsque l'on compte 10 à 18 acariens tétranyque par feuille et à raison de 25 000 prédateurs par hectare. En cas d'infestations de l'acarien *Aculops lycopersici*, le recours à *P. persimilis* n'est pas possible et d'autres moyens de lutte doivent être envisagés.

Diglyphus isaea est utilisée dans la lutte contre les mineuses. On peut avoir recours à des lâchers, éventuellement en association avec *Dacnusa sibirica*, le pourcentage de l'un et l'autre auxiliaire dans le mélange étant fonction de la saison (*D. Sibirica* étant plus utile en saison froide).

Bacillus thuringiensis, l'insecticide microbien est évidemment tout à fait de mise pour lutter contre les lépidoptères et semble maintenant être de plus en plus accepté par les horticulteurs qui ont bien compris que les applications devaient se faire aux stades jeunes du développement de *Chrysodeixis chalcites*, *Autographa gamma* et *Helicoverpa armigera*. Par contre, le produit microbien ne serait pas utilisé contre les larves de noctuelles comme *Agrotis segetum* et *A. ipsilon* dont les dégâts peuvent être importants juste après la transplantation.

Il est à noter que les trois espèces d'arthropodes utiles mentionnées ci-dessus (*Encarsia formosa*, *Phytoseiulus persimilis* et *Diglyphus isaea*) sont naturellement présentes en climat méditerranéen. L'inconvénient qui résulte du manque d'herméticité des abris serre du type méditerranéen pourrait donc être compensé par le fait que les auxiliaires ont, en revanche, plus de chance de survie dans les biocénoses de ces régions. Il est également constaté que d'autres insectes utiles (Miridae, par exemple) refont leur apparition dans les exploitations qui ont adopté des schémas de lutte intégrée en cultures sous abri. Ceci pourrait même avoir une influence très favorable pour les cultures de plein champ qui sont susceptibles d'être colonisées par ces mêmes auxiliaires lorsque la culture sous abri arrive à son terme. Il est donc primordial de raisonner la lutte intégrée non seulement au niveau de la serre mais aussi au niveau de l'écosystème agricole dans laquelle la serre se trouve intégrée. Des échanges d'organismes utiles pourraient ainsi avoir lieu entre la serre et les cultures de plein air et on pourrait espérer maintenir plus longtemps les populations d'organismes utiles tout au long des saisons culturales.

Cependant, la mise en pratique de la lutte intégrée est moins aisée que dans le Nord de l'Europe car les consommateurs ne sont pas aussi sensibilisés et n'accordent pas systématiquement leur préférence à la qualité des produits obtenus en lutte intégrée. D'autre part, les producteurs sont plus tentés par l'utilisation de produits chimiques, ce qui réduit énormément les chances de succès des méthodes biologiques.

c) Les programmes de lutte intégrée en serres et leur impact sur l'utilisation des pesticides

Dans le Nord de l'Europe, la lutte intégrée est devenue une nécessité incontournable en culture de tomates sous serre depuis que l'on a adopté massivement la technique de pollinisation par bourdons. Il est en effet, apparu très intéressant de recourir à ce pollinisateur (produit en élevage spécialisé et commercialisé par des entreprises privées). Par voie de conséquence, l'utilisation d'insecticides et acaricides non spécifiques est devenue impossible et c'est ce qui a provoqué un développement fulgurant de la lutte intégrée.

Dans le Tableau 1 (page 157), on donne un aperçu sur les moyens de contrôles chimiques et biologiques utilisés en cultures de tomates et de poivrons dans les zones de production intensive de légumes sous serre du Nord de la Belgique.

On remarque donc que le nombre de traitements avec des insecticides-acaricides est devenu peu important et qu'en outre les produits subsistants sont soit peu toxiques, sélectifs et inoffensifs pour l'environnement (IGR), soit peu persistants du fait de leur volatilité (dichlorvos) soit encore appliqués sous une forme qui permet de limiter très fort leurs effets secondaires préjudiciables (application de méthomyl dans le système d'irrigation du type goutte à goutte).

En cultures de tomate, la lutte biologique au moyen d'acariens prédateurs n'est pas encore réalisable dans la pratique bien que la recherche de solutions se



poursuive. On est donc encore obligé d'utiliser des acaricides chimiques. Mais il faut faire remarquer que ces nouveaux acaricides sont très peu polluants et fonctionnent suivant un mode d'action très particulier leur assurant une sélectivité remarquable (voir lutte chimique conventionnelle et biorationnelle en annexe 8). En outre, ces produits peuvent être considérés comme des correctifs intéressants de la lutte biologique.

Du fait de la réduction, non seulement des quantités appliquées, mais aussi du nombre de traitements effectués avec des produits chimiques tout au long d'une saison culturale, on assiste à une réduction intéressante de la pression de sélection exercée sur les organismes ciblés. Le risque de développement d'une résistance est de ce fait plus faible, voire nul. Comme autre conséquence favorable, on assiste, depuis quelques années, à la résurgence d'un nombre croissant d'espèces d'organismes utiles dans les serres soumises à la lutte intégrée, ce qui alimente de façon quasi automatique la force motrice appréciable de la lutte naturelle. On est loin du cercle vicieux pervers dans lequel nous entraînaient la lutte aveugle mais force est de constater que tous les problèmes ne sont pas surmontés, loin s'en faut, et que ces techniques demandent une vigilance accrue et un niveau de technicité élevé.

Il faut noter, par ailleurs, que dans ces systèmes de culture, les traitements du sol (fumigation) sont soit réalisés à la vapeur (+ une éventuelle application d'un insecticide systémique visant à la protection des parties aériennes), soit carrément supprimés si l'on se trouve dans un système de cultures hydroponiques. Dans ce dernier cas, il faut préciser que des fongicides peuvent être incorporés dans la solution nutritive, ce qui peut encore constituer une menace pour l'environnement aussi longtemps que les techniques de recyclage et de désinfection des solutions nutritives ne seront pas totalement maîtrisées.

En conséquence, dans les exploitations qui pratiquent la lutte intégrée et qui privilégient la lutte biologique, les quantités de pesticides utilisés sont réduites d'environ 50 % (actuellement 8 kg de m.a. en culture de tomates et autrefois plus de 15 kg ! 5 kg en poivrons au lieu d'un minimum de 10 kg en cultures traditionnelles).

TABLEAU 1
lutte intégrée en cultures de tomates et poivrons : aperçu des parasites et
méthodes de lutte envisageables en conditions européennes.

Parasites	Lutte
Aleurodes (Trialeurodes vaporariorum)	Parasitoïde (<i>Encarsia formosa</i>) Buprofezin (IGR)(*)
Mineuses (<i>Liriomyza bryoniae</i>) (<i>L. trifolii</i>) (<i>L. huidobrensis</i>)	Parasitoïdes (<i>Dacnusa sibirica</i>) (<i>Diglyphus isaea</i>) Cyromazine (IGR)
Pucerons (<i>Myzus persicae</i>) (<i>Aphis gossypii</i>)	Parasitoïde (<i>Aphidius matricariae</i>) Prédateur cécidomye (<i>Aphidoletes aphidimyza</i>) Pyrimicarbe (aphicide)
Tétranyques (<i>Tetranychus urticae</i>)	Prédateur (surtout en poivron) (<i>Phytoseiulus persimilis</i>) Acaricides spécifiques (surtout en tomates)
Lépidoptères	Insecticide microbien (<i>Bacillus thuringiensis</i>)
Thrips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Capsides prédateurs (<i>Orius spp</i>)(en poivrons) Acariens prédateurs (<i>Amblyseius cucumeris</i>) Lutte chimique adaptée (dichlorvos méthomyl)
Punaises (en poivrons) (<i>Liocoris tripustulatus</i>)	Lutte chimique adaptée (méthomyl dans le système d'irrigation)
Traitement du sol	Désinfection à la vapeur Lutte chimique : oxamyl

(*) IGR : Insect Growth Regulator (voir lutte chimique biorationnelle).



Bibliographie

- ACS Symposium Series 524 (1993)
Pest Control with Enhanced Environmental Safety
Ed. by Duke S.O., Menn J.J. and Plimmer J.R. (357p.)
- ACTA VALENCE (1989)
Choix des produits phytosanitaires en vergers
La Défense des végétaux, N°259, 9_12
- ALABOUVETTE C., 1986
Biological control of soil-borne diseases especially *Fusarium* wilts in protected crops.
In : Cavalloro R. : Integrated and biological control in protected crops” Ed. by CEE.
- ALABOUVETTE C., de la BROISE D., LEMANCEAU P., COUTEAUDIER Y., LOUVET J., 1987
Utilisation de *Fusarium* non pathogènes pour lutter contre les fusarioses: situation actuelle dans la pratique. *In* : Integrated Pest Management in protected vegetable crops. Cabrils. 27-29 may 1987
- ALOMAR O., CASTANE C., BORDAS E., ADILLON J., ALBAJES R., 1989
Cultural practices for IPM in protected crops in Catalonia
In “I.P.M. in protected vegetables crops” Ed. by CAVALLORO and PELERENTS, Published by Balkema, Rotterdam, 347-354
- BAUDOIN W.O. (1992)
Production des légumes sains par l’application de techniques appropriées
Atelier régional sur la lutte intégrée en cultures légumières en Afrique, Dakar, Novembre 1992
- BCPC Monograph N° 51 (1990)
Insect pheromones and other behaviour-modifying chemicals
Ed. by Ridgway, May Inscoc and Arn; Farnham, Surrey, England (135p.)
- BCPC Monograph N° 57 (1994)
Seed treatments: progress and prospects
Ed. by Martin; Farnham, Surrey, England (482p.)
- BIACHE G. (1992)
Potentialités insecticides en lutte intégrée de préparations à base de *Bacillus thuringiensis* ou de baculovirus contre les noctuelles de la tomate et du concombre en cultures protégées
In «I.P.M. in protected vegetables crops» Ed. by CAVALLORO and PELERENTS, Published by Balkema, Rotterdam, 99-105
- BORDAT D. (1989)
La lutte intégrée en cultures maraîchères
Brochure d’information éditée par IRAT-CIRAD, Montpellier
- BUES R., TOUBON J.F., BOUDINHON L. (1989)
Dynamique des populations et lutte biologique contre *Heliothis armigera* en culture de tomate sous serre dans le sud de la France
In «I.P.M. in protected vegetables crops» Ed. by CAVALLORO and PELERENTS, Published by Balkema, Rotterdam, 91-98
- CARTAUD G. (1993)
Tests de préparations à base de neem et de ricin pour la lutte contre les nématodes phytophages sur culture de tomate
In «Protection naturelle des végétaux en Afrique», Dakar Enda-Editions, Série Etudes et Recherches N°154-155-156 (pp. 101-114)



- DESCOINS Ch. (1993)
Les médiateurs chimiques
Phytoma - La défense des végétaux, N°452, 33-35
- DUPRIEZ H., DE LEENER Ph. (1985)
Jardins et vergers d'Afrique
Ed. by "Terres et Vie", Nivelles (354p.)
- ESPINOSA J.B., HERNANDEZ A.C., PADRON F.P., ESPINO DE PAZ A., RUMEU L.U., 1989
An overview of IPM in the Canary Islands
In "I.P.M. in protected vegetables crops" Ed. by CAVALLORO and PELERENTS,
Published by Balkema, Rotterdam, 297-308
- FAO (1967)
Report of the first session of the FAO panel of experts on integrated pest control.
Rome, 18-22 septembre 1967
- FAO (1986)
Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides (37p.)
- FAO et OMS (1992)
Conférence internationale sur la nutrition, Rome, décembre 1992 (Rapport final)(63p)
- FOURNIER D., PRALAVORIO M., MALEZIEUX S., MOULIN J.-Cl. (1992)
Effets résiduels des produits phytosanitaires sur un acarien prédateur
Phytoma-La défense des végétaux, N° 438, pp 50-52
- GRUBBEN G.J.H. (1975)
La culture de l'amarante, légume-feuilles tropical
Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen, 75-6 (223p)
- INRA (1990)
La lutte biologique contre les nématodes.
Fiche technique publiée par la direction de l'information et de la communication, Paris
- INRA (1993)
La lutte biologique
Dossier de la Cellule environnement de l'INRA n°5 (A. Fraval Editeur) (238p.)
- JAMART G., KAMOEN O., VANACHTER A., 1992
La désinfection des solutions nutritives
Revue de l'Agriculture, 45, 207-219
- KATAN J. 1986
Soil solarisation
In "Innovative approaches to plant disease control" ; Ilan Chet Editor, 77-105
- LAVABRE E.M. (1988)
Le désherbage des cultures tropicales
Ed. Maisonneuve & Larose, Paris (127p.)
- MATEILLE Th., NETSCHER C. (1989)
Control of *Meloidogyne incognita* on cucumber by small quantities of systemic nematicides applied at seedling stage
Tropical Pest Management, **35**, 107
- MESSIAEN C.M., BLANCARD D., ROUXEL F., LAFON R. (1991)
Les maladies des plantes maraîchères (3ème Edition)
Ed. INRA, Paris (552p.)
- MENDGEN K., SCHIEWE A., FALCONI C. (1992)
Biological control of plant diseases
Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **45**, 1, 5-22
- NIHOUL Ph., HANCE Th., VAN IMPE G., LEBRUN Ph. (1992)
Contrôle intégré des acariens tétranyques en serre
Revue de l'Agriculture, **45**, 271-282

- NUCIFORA A., VACANTE V., 1989
 Employment of *Encarsia formosa* (GAHAN) on protected vegetable crops in Sicily during spring
 In "Integrated pest management in protected vegetable crops" Edited by CAVALLORO and PELERENTS, published by Balkema, Rotterdam, 29-38
- OGAWA K., KOMADA H., 1984
 Biological control of Fusarium wilt of sweet potato by non pathogenic *F. oxysporum*.
 Ann. Phytopath. Soc. Japan, 50, 1-9
- OUDEJANS J.H. (1991)
 Agro-Pesticides: Properties and functions in integrated crop protection
 Ed. by United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (329p.)
- OSTERMANN H. (1993)
 Utilisation des insecticides naturels au Sahel
 In «Protection naturelle des végétaux en Afrique», Dakar Enda-Editions, Série Etudes et Recherches N°154-155-156 (pp.115-127)
- PUSSEMIER L. (1992)
 Critères d'ordre écotoxicologique pour l'acceptation de pesticides dans le cadre de la lutte intégrée en cultures maraîchères en Afrique
 Atelier régional sur la lutte intégrée en cultures légumières en Afrique, Dakar, Novembre 1992
- POEHLING H.M. (1992)
 Opportunities for biological control of animal pests
 Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **45**, 1, 31-48
- RIBA G., SILVY Ch. (1991)
 Perspectives de la lutte microbiologique contre les ravageurs des cultures
 Bulletin de la Société de Zoologie Française, **116**, 331-338
- RIBA G., SILVY Ch. (1993)
 La lutte biologique et les biopesticides
 Phytoma - La défense des végétaux, N°452, 21-32
- REYD G. (1993)
 Les voiles non tissés en Agriculture
 Phytoma - La défense des végétaux, N°448, 16-18
- RUNIA W., 1988
 Elimination of plant pathogens in drainwater from soilless cultures.
 ISOSC Proceedings, 429-443
- SCHIFFERS B., COPIN A., ROLAND L. (1992)
 Innover dans la technologie des formulations pour une application des pesticides plus respectueuse de l'environnement
 Revue de l'Agriculture, 45, 221-231
- SCHER M.F., BAKER R., 1982
 Effects of *Pseudomonas putida* and synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to Fusarium wilts pathogens.
 Phytopathology, 72, 1567-1573
- SCHMUTTERER H. (1992)
 Higher plants as sources of novel pesticides
 In "Insecticides: Mechanism of action and resistance" Ed. by OTTO D. and WEBER B., Intercept, Bristol (pp. 3-15)
- SIVAN A., CHET I., 1986
 Biological control of *Fusarium* spp. in cotton, wheat and muskmelon by *Trichoderma harzianum*.
 Journal of Phytopathology, 116, 39-47



- STERK G. (1992)
Anti-resistance strategies against the red spider mite in Belgian orchards
In "Insecticides: Mechanism of action and resistance" Ed. by OTTO D. and WEBER B., Intercept, Bristol (pp. 427-432)
- SUKHOROCHENKO G.T. (1992)
Cotton pest resistance to pesticides and its management in USSR
In "Insecticides: Mechanism of action and resistance" Ed. by OTTO D. and WEBER B., Intercept, Bristol (pp. 387-399)
- TALEKAR N.S., SHELTON A.M. (1993)
Biology, ecology, and management of the diamondback moth
Annual Review of Entomology, **38**, 275-301
- TANG Z. (1992)
Present status, mechanisms and countermeasures of insecticide resistance in vegetable pests in China
In "Insecticides: Mechanism of action and resistance" Ed. by OTTO D. and WEBER B., Intercept, Bristol (pp. 377-386)
- UNITED NATIONS (1992)
Agenda 21: Programme of action for sustainable development. Rio declaration on environment and development.
- VAN DE VEIRE M., DEGHEELE D. (1992)
Conséquences pour l'environnement de la lutte intégrée en légumes sous verre en Flandre.
Revue de l'Agriculture, 45, 283-290
- VAN WAMBEKE E., 1989
Soil mulching for chemical desinfestation : possibilities and evolutions.
Acta Horticulturae, 255, 243-254
- VAN WAMBEKE E., VANACHTER A., 1992
La désinfection du sol, des substrats et des matériaux
Revue de l'Agriculture, 45, 191-196

Glossaire

Acclimatation :	technique qui consiste à introduire et acclimater un agent de lutte biologique (parasite ou prédateur) dans un milieu où il n'est pas naturellement présent.
Allomone :	substance produite par un végétal en vue de lutter contre une maladie, un ravageur.
Antagoniste :	organisme qui entre en compétition avec d'autres en entravant leur développement.
Auxiliaire :	organisme vivant utile pour la production et la protection des plantes (pollinisateurs, ennemis naturels des ravageurs des cultures).
Biopesticide :	pesticide fabriqué à partir d'organismes vivants (bactéries, virus); parfois aussi à partir de substance naturelle.
Délai d'attente : (ou délai de carence)	laps de temps qu'il faut respecter entre le dernier traitement avec un pesticide déterminé et la récolte de la culture traitée pour s'assurer de l'absence de résidus à des teneurs inacceptables sur les denrées consommées.
Déprédateur :	(Synonyme de ravageur) animal phytophage occasionnant des dégâts aux cultures (à ne pas confondre avec prédateur).
DL50 :	dose d'un produit nécessaire pour tuer 50 % d'une population exposée, traitée; Il s'agit d'une expression aisée de la toxicité aigüe d'un produit et les valeurs les plus fréquemment renseignées proviennent d'expérimentation sur rats intoxiqués par voie orale; les résultats sont exprimés en mg de produit toxique par kg d'animal test (rat).
Eliciteur :	substance chimique susceptible de déclencher une réaction de défense sur une plante.
Fongicide :	substance utilisée pour la protection des cultures contre les attaques de champignons.
Formulation:	préparation d'un pesticide prête à l'emploi et contenant outre la matière active des adjuvants, mouillants, solvants, matières inertes, etc...
Herbicide :	substance utilisée pour le désherbage; on distingue les herbicides radiculaires (essentiellement absorbés par les racines après application au sol et caractérisés par une certaine rémanence dans le sol) et les herbicides foliaires (essentiellement absorbés par les feuilles et généralement peu persistants dans le sol).



- Homologation:** acceptation d'un pesticide par une autorité officielle pour un usage déterminé après vérification de l'efficacité du produit et de son innocuité pour les utilisateurs du pesticide, les consommateurs des denrées traitées et l'environnement.
- Insecticide conventionnel :** insecticide de synthèse dont le mode d'action implique une intoxication des insectes entraînant un effet létal rapide, peu sélectif et persistant.
- Insecticide biorationnel :** insecticide d'origine naturelle ou insecticide de synthèse dont le mode d'action et les propriétés chimiques du produit sont tels que l'effet biologique n'est pas nécessairement ou directement létal; ces produits sont généralement caractérisés par une importante sélectivité et (ou) une faible persistance d'action.
- Lutte biologique :** forme de lutte basée sur l'utilisation d'agents biologiques (prédateurs, parasites) ou microbiologiques (préparations bactériennes, fongiques ou virales). On distingue (i) la lutte biologique naturelle (où l'on favorise l'action des auxiliaires naturellement présents), (ii) la lutte biologique par acclimatation (où l'on introduit et acclimate un auxiliaire exotique) et (iii) la lutte biologique inondative (où l'on répète les lâchers dès que la population du ravageur croît de façon excessive).
- Lutte biotechnique :** forme de lutte associant l'utilisation de moyens biologiques (phéromones, lâchers d'insectes) et d'autres techniques (piégeage, stérilisation par irradiation, dispersion contrôlée de médiateurs chimiques) en vue de contrôler de façon très sélective un ravageur déterminé.
- Lutte chimique raisonnée :** forme de lutte basée sur l'utilisation de pesticides mais visant à limiter le nombre d'interventions et la quantité de produit utilisée en tirant parti de tous les éléments permettant de mieux cibler le traitement (choix du produit, mode d'application, traitement dirigé, respect d'un seuil d'intervention, ...).
- Lutte mécanique/physique :** méthodes de protection des plantes par des moyens mécaniques (écrans, pièges, ...) ou par l'emploi d'agents physiques (chauffage, irradiation, submersion, ...).
- Lâcher inondatif :** technique de lutte biologique consistant à introduire un grand nombre d'organismes utilisés pour la protection des cultures.
- Parasite :** organisme se développant aux dépens d'un être vivant en freinant le développement de celui-ci et pouvant même entraîner sa mort.
- Parasitoïde :** type de parasite se développant aux dépens d'un hôte qui meurt après achèvement du cycle de développement.
- Pesticide:** substance ou préparation permettant de lutter contre les ennemis (ravageurs, maladies, adventices) des cultures (synonymes: produits phytosanitaires, produits phytopharmaceutiques).

Phéromone : substance chimique produite par un insecte et servant à la communication entre les individus de la même espèce.

Prédateur : animal utilisé en lutte biologique pour détruire les ravageurs des cultures.

**Production-
Protection Intégrées :** système de production agricole basé sur la prévention et dans lequel on combine toutes les techniques de production et de protection des végétaux qui permettent de maintenir la culture dans un état phytosanitaire satisfaisant.

Résidus: restes de pesticides (que ce soit le produit parent ou des produits de transformation) présents sur les végétaux traités ou dans d'autres compartiments de l'environnement (sol, eaux, faune sauvage,...)

Résistance
(chez le végétal) : propriété que possède une variété et qui lui permet d'être protégée des effets d'une maladie ou des attaques d'un ravageur. La résistance est généralement une propriété plus développée que la tolérance, cette dernière n'offrant qu'une protection partielle.

Résistance
(chez un ravageur ou un agent de maladie) : propriété que possède l'organisme en question (ravageur ou agent de maladie) et qui lui permet de ne pas être affecté par une dose de pesticide qui s'avère létale pour une population témoin de la même espèce. Cette forme de résistance peut survenir suite à une sélection d'individus possédant les caractères de résistance innés mais elle peut aussi s'acquérir suite à une exposition de nombreuses générations de l'organisme à des doses sub-létales du pesticide.

Seuil économique d'intervention ou seuil de nuisibilité : taux de dégât supportable en dessous duquel il n'est pas justifié de réaliser un traitement de protection phytosanitaire. Ce seuil dépend du coût du traitement projeté (et donc de la nature du produit utilisé) et d'autres facteurs variables (valeur de la production agricole sur le marché; comportement de l'acheteur vis à vis de l'aspect physique des denrées, ...).

Stratégie anti-résistance : ensemble de mesures à prendre pour éviter qu'un ravageur ou agent de maladie ne devienne résistant aux pesticides utilisés.

Systémie : propriété d'un pesticide lui permettant d'être absorbé par les racines ou les feuilles d'un végétal et d'être véhiculé d'un organe à l'autre; on parle de systémie ascendante ou apoplastique lorsque ce transport se fait via le xylème (cas le plus fréquent) et de systémie descendante ou symplastique lorsque le transport se réalise via le phloème (cas de certains herbicides comme le glyphosate).

Transgénique : se dit d'un organisme dans lequel on a intégré un gène provenant d'un autre organisme lui conférant, par exemple, un caractère de résistance suite à la possibilité de détoxifier un herbicide ou de produire une toxine de défense.

