

UTILISATION DES PESTICIDES DANS LE CONTEXTE DE LA PRODUCTION DE FRUITS ET LEGUMES EXPORTES

Prof. Bruno Schiffers (F.U.S.A.Gx)

Introduction

Un champ ou une parcelle cultivés sont des **milieux artificiels** où la biodiversité naturelle a largement disparu. En concentrant les espèces cultivées, l'agriculteur favorise les populations déprédatrices et les épidémies. La quête de moyens de contrôle permettant de rétablir le potentiel de production est apparue très rapidement aux producteurs comme *une nécessité*.

Les produits phytopharmaceutiques, dénommés **pesticides**, sont des substances utilisées pour protéger les récoltes contre leurs ennemis, assainir les locaux et exercer une action physiologique sur la croissance des végétaux. L'arsenic et le soufre ont été utilisés dans l'Antiquité, mais la lutte chimique ne s'est développée qu'à partir du XIX^{ème} siècle, avec l'utilisation de produits d'origine végétale (roténone et pyrèthre) ou minérale (cuivre et arsenic). La nicotine a été l'un des premiers insecticides. En 1939, Muller découvre les propriétés du DDT. Les organophosphorés apparaissent en 1950 (malathion), et, bien qu'ils aient une toxicité aiguë souvent plus élevée, remplacent progressivement les organochlorés à qui l'on reproche de s'accumuler dans les chaînes alimentaires et l'environnement. En 1973, les pyrèthrinoides font leur apparition (perméthrine) suivis de nombreuses autres molécules possédant une activité biologique encore plus élevée (ex : herbicides sulfonyl-urées, insecticides néo-nicotinoïdes, etc.) ce qui permet de réduire progressivement la dose appliquée par hectare.

Le marché des pesticides a, ces dernières années, considérablement augmenté. Il est estimé à environ **\$25 milliards par an**, l'augmentation des surfaces cultivées et le souci de produire toujours plus ayant amené une croissance soutenue de l'emploi des pesticides. S'il en est résulté pour le consommateur un meilleur approvisionnement en aliments, l'usage inapproprié et/ou excessif des pesticides entraîne cependant **divers effets secondaires indésirables** notamment **sur l'environnement et la santé humaine**. La contamination de l'environnement et l'absorption de résidus de pesticides contenus dans l'alimentation et l'eau potable ont bien évidemment des répercussions néfastes sur la santé. Ces effets indésirables ont amené plusieurs organisations internationales, comme la FAO (**Code International de Conduite FAO**, Rome 1985), l'OCDE, l'UNEP ou l'UE, à agir auprès des gouvernements afin qu'ils révisent leurs réglementations de production, d'achat, de mise sur le marché et d'utilisation des pesticides.

Au niveau européen, c'est la **Commission européenne** qui réglemente, au travers d'une série de **Directives**, telle que la Directive européenne **91/414/CEE** adoptée en 1991 et entrée en vigueur le 25-07-1993, la mise sur le marché et l'emploi des pesticides. Elle a pour but d'**harmoniser** dans les Etats membres de l'Union Européenne la procédure d'évaluation des produits phytosanitaires. Dorénavant, sur avis d'un comité d'experts nationaux (le « **Comité permanent de la Chaîne alimentaire et de la Santé animale** »), c'est la Commission européenne qui décide de l'admission ou du refus d'anciennes substances actives (processus de révision engagé jusqu'en 2008) ou de nouvelles substances actives pour l'ensemble de l'Union Européenne. Les **substances actives autorisées** sont inscrites

à l'**Annexe I** de la Directive 91/414/CEE avec leurs caractéristiques (degré de pureté, teneurs maximales en certaines impuretés) et les restrictions d'emploi éventuelles. Parallèlement, un processus d'harmonisation des LMR est également en cours dans l'UE.

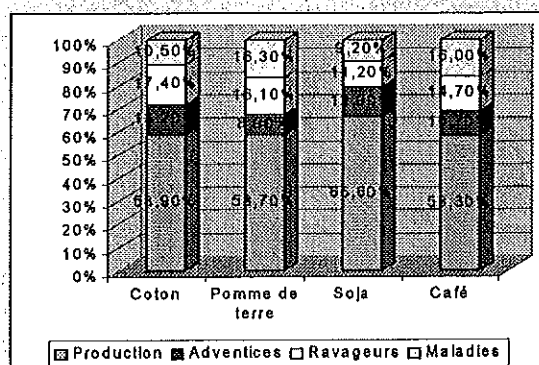
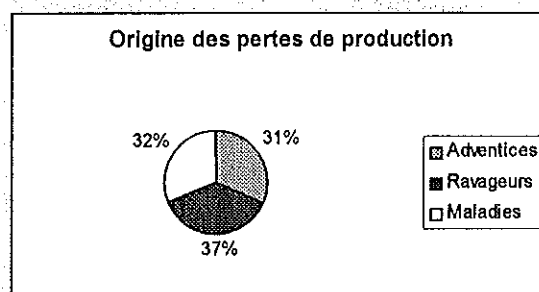
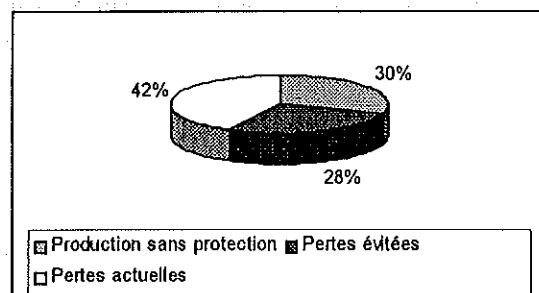
Impact des maladies et des ravageurs sur la production

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

Ils mettent en évidence la **différence substantielle** qui existe entre la « production potentielle » des variétés utilisées et les « rendements réellement enregistrés », l'attribuant pour la plus large part aux dégâts causés par les parasites aux cultures, même dans les régions où les techniques agronomiques les plus récentes sont employées. Ainsi OERKE estime que la chute de production est comparable d'une région à l'autre quand des techniques de production modernes sont utilisées mais sans stratégie de protection. En coton par exemple, les rendements pourraient chuter jusqu'à 15,9% de la production potentielle, à comparer aux 60% actuellement atteints en utilisant les divers moyens de protection.

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

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



Maintenir la productivité à l'hectare est une nécessité économique

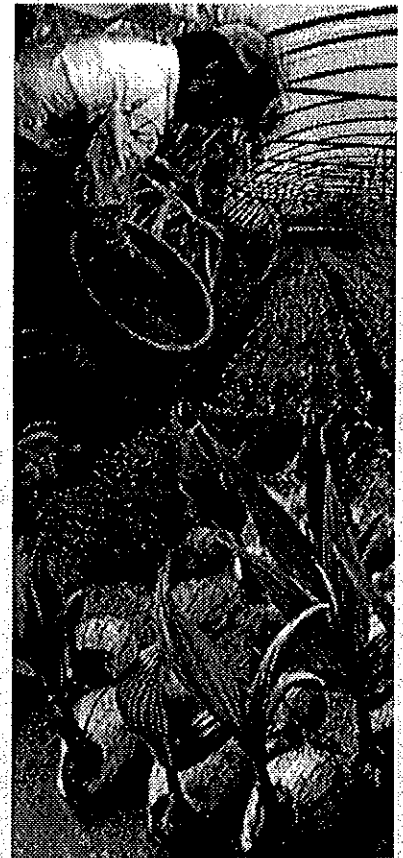
Selon le type d'économie où ils se trouvent, et le contexte économique dans lequel ils vivent, les agriculteurs - dont le but est de s'assurer un revenu décent et croissant (ce qui ne passe pas nécessairement par une productivité maximale à l'hectare) - agissent de préférence sur l'un et/ou l'autre de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

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

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

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

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



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

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

La lutte phytosanitaire doit s'inscrire dans une agriculture durable

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

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

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

En 1987, le Rapport Brundtland soulignait que dégradation, pollution et absence de croissance vont de pair dans les pays en développement (PVD) et se prononçait pour une politique de croissance qui prenne en considération les contraintes de l'environnement et définissant le concept de **"développement durable ou soutenable"**. Le développement durable en agriculture impose de **connaître et de limiter l'impact sur l'environnement des intrants utilisés**, et nécessite par conséquent tout d'abord la compréhension de l'agro-écosystème, et ensuite la connaissance de la toxicité, de la dégradabilité et de la mobilité de des pesticides utilisés dans le sol, dans l'eau et dans l'air en vue de réduire par tous les moyens les effets secondaires indésirables des traitements.

La production agricole intégrée représente la dernière étape d'une stratégie visant à l'optimisation, dans des conditions économiquement satisfaisantes pour l'agriculteur, de chacun des éléments du polynôme « *qualité / quantité / coût de production / protection de l'environnement* ». La production agricole intégrée n'est pas une théorie agronomique ni une doctrine rigide, c'est un état d'esprit permettant d'intégrer dans le bilan global d'une entreprise agricole, en plus des coûts et bénéfices directement mesurables en termes monétaires, l'estimation de **l'impact de l'activité agricole sur l'environnement** (écobilans). Il s'agit de mettre en place une **agriculture compétitive** qui prenne en compte de manière équilibrée les objectifs économiques des producteurs, les attentes des consommateurs et des industries de transformation ainsi que le respect de l'environnement. La **sécurité sanitaire**, qui a pour objectif de protéger la santé du consommateur, et la **protection de l'environnement** seront atteints conjointement en respectant les prescriptions générales telles que reprises, par exemple, dans le Cadre Harmonisé du COLEACP, dans le Référentiel de l'Agriculture Raisonnée (France), la Charte PERFECT (Belgique) ou le Référentiel EUREPGAP.

La production agricole intégrée associe la notion de régulation des ravageurs et maladies à un système de fertilisation raisonnée et de sélection variétale appropriée aux itinéraires techniques proposés. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que « l'arbitre » final reste le consommateur qui souhaite acheter **un produit sain, de qualité et financièrement abordable**.

Pour les pays du Sud, il est nécessaire de se mettre dans l'optique où la consommation de pesticides se maintiendra, voire même augmentera, et où il s'agira, dans un premier temps, de se donner les moyens de réguler cette utilisation en ayant comme priorités la réduction des risques pour l'homme (opérateurs et consommateurs) et pour l'environnement en vue de l'obtention d'une production de qualité, c'est-à-dire **respectant les Normes de Qualité Phytosanitaire**.

La démarche d'intervention se fonde sur des connaissances diverses

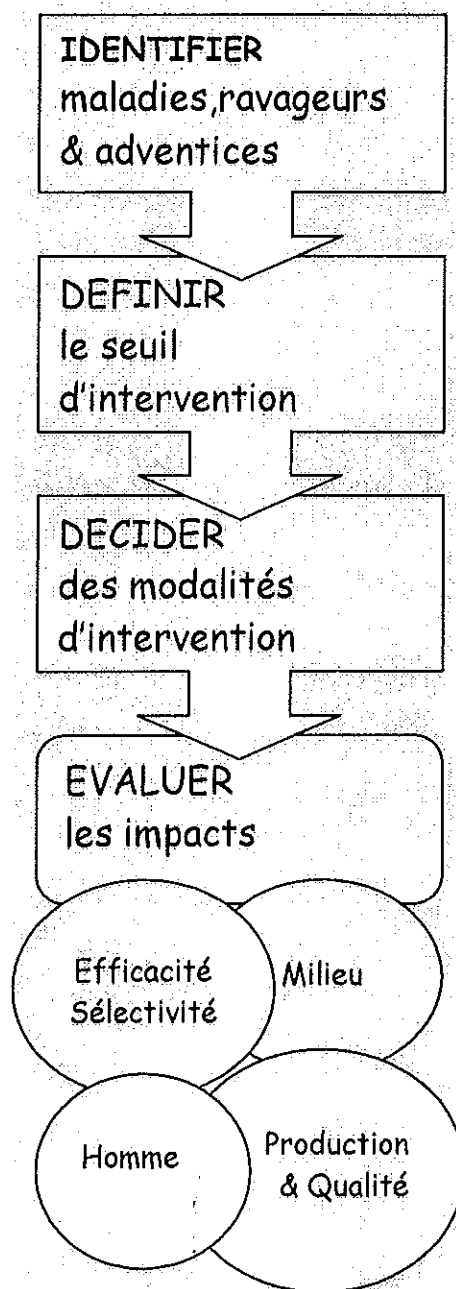
A long terme, la lutte phytosanitaire n'a de sens que si elle est envisagée dans le cadre d'une démarche globale, d'une stratégie réfléchie, qui ne peut se construire que **sur base de connaissances fondamentales solides** :

- ✓ suivi des cultures (agronomie) et connaissance des données biologiques concernant les parasites (dont, nuisibilité des parasites et actions des parasitoïdes)
- ✓ connaissance et étude de l'agroécosystème (dont, sensibilité de la culture aux conditions du milieu et aux parasites)
- ✓ connaissance des propriétés biologiques et physico-chimiques des produits phytosanitaires (dont mode d'action, dose efficace, rémanence et effets secondaires, formulations)
- ✓ **connaissance de la réglementation** : substances autorisées et interdites, restrictions d'emploi, dosage autorisé, délais avant récolte (DAR), limites maximales en résidus autorisées (LMR).

La lutte phytosanitaire a beaucoup évolué :

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

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



Revue des différentes étapes d'intervention

Etape n°1 : IDENTIFIER

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

Etapes n° 2 et 3 : EVALUER et DEFINIR LE SEUIL D'INTERVENTION

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

Pour intervenir opportunément, et notamment pour rationaliser l'emploi des insecticides, la **notion de seuil d'intervention, adapté à la pression parasitaire réelle, est préconisée**. La modulation des niveaux des seuils d'intervention des ravageurs est réalisable en intégrant dans les paramètres de décision des données agronomiques (modes de culture, stades phénologiques, variétés), des éléments climatologiques et géographiques, des données de biologie, entomologie, pathologie ou malherbologie générale et des données économiques (valeur économique de la culture, coût des différentes méthodes de lutte). Il est vrai qu'une culture peut supporter un certain taux d'infestation : il existe des phénomènes de compensation qui font que, jusqu'à un certain niveau, l'altération d'une partie de l'appareil de production ne diminue pas la valeur du produit.

A partir d'un certain niveau de parasitisme ou seuil de nuisibilité, la perte de rendement due à l'infestation justifie l'intervention : c'est le **seuil d'intervention** (encore appelé **seuil économique de dégâts** ou « *Economic Threshold* »).

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

▪ Pour les insectes :

les méthodes d'observation, de comptage et de piégeage (piégeage visuel, piégeage coloré, piégeage olfactif basé sur l'utilisation de phéromones)

▪ Pour les agents pathogènes : l'observation directe (bactéries, virus, champignons). Il faut pouvoir reconnaître l'apparition ou le développement des anomalies, et identifier la cause exacte des symptômes observés (modifications de la couleur, altérations d'organes, modifications anatomiques).

▪ Pour les mauvaises herbes : l'observation régulière de la parcelle reste le moyen le plus simple pour évaluer les populations d'adventices. Par contre, leur identification constitue toujours un problème surtout lorsqu'il s'agit de reconnaître les jeunes stades des adventices.

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

- ✓ **Evaluer le degré d'infestation** de la culture correctement (échantillonnage ?)
- ✓ **Estimer les risques** pour la culture ou la récolte en fonction du degré d'infestation, du stade phénologique de la culture, de sa sensibilité et des conditions climatiques.
- ✓ **Evaluer la relation existant entre le revenu espéré** (en fonction de la valeur monétaire de la culture ou de la récolte) **et le prix de revient de l'intervention** (ex : produit + application).

De là l'importance qu'il convient d'accorder à la connaissance et à la maîtrise de la **dynamique des populations**, tout particulièrement des ravageurs et des auxiliaires. La perception de cette dynamique, ainsi que l'estimation du nombre de ravageurs susceptibles d'être supportés par une culture, font appel à des études biologiques qui doivent fournir aux agriculteurs des outils de décisions simples : méthodologie et techniques d'évaluation des niveaux de populations et modélisation des infestations.

Sur le terrain, **ces paramètres complexes sont difficiles à évaluer** et exigent des connaissances, une formation et un encadrement que les agriculteurs n'ont pas toujours l'opportunité d'avoir. De plus, **la relation entre symptômes, dégâts et pertes est complexe**. De même, l'appréciation financière des pertes fait intervenir de nombreux facteurs économiques difficilement maîtrisables par les agriculteurs (systèmes de formation des prix des produits agricoles). Aussi, en l'absence de ces évaluations, on se situe dans le domaine des traitements préventifs (ou « de sécurité »), c'est-à-dire les « **traitements calendaires** » (réalisés sur calendrier). Néanmoins, ces interventions programmées peuvent être raisonnées grâce à l'utilisation de produits efficaces contre le ravageur cible, sélectif, respectueux de l'homme et de l'environnement. Des programmes de protection de transition sont ensuite proposés, intégrant progressivement les interventions sur seuil.

Modélisation :

Si on examine un phénomène sur plusieurs générations, on s'aperçoit que ce qui compte dans une intervention phytosanitaire, ce n'est pas tant le nombre d'insectes tués que celui des survivants. Le niveau d'une population est en fait la résultante de l'action de très nombreux facteurs et ne peut donc être analysé que par l'établissement de modèles.

Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité biologique. Sa mise en place force le chercheur à cerner parfaitement le complexe « ravageur / plante hôte » étudié. Après intégration des données expérimentales, les résultats du modèle dans diverses situations seront comparés aux observations réelles. Après simplification des données intégrées, il s'agit d'établir un modèle prévisionnel dont le but est de prévoir les dynamiques de populations.

Le biologiste calcule l'impact de chaque paramètre sur le niveau de population et élimine ceux qui influent peu. Il peut s'agir de paramètres biologiques (nombre d'insectes) et abiotiques (nombre de degrés-jours, hauteur des précipitations, nombre de jours de pluie, etc.). Une fois recensés, ils permettent de prévoir les pullulations d'insectes et de mettre en place des réseaux d'avertissements agricoles destinés à informer rapidement les agriculteurs sur les niveaux d'infestation.

Etape n°4 : DECIDER

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

Etape n°5 : EVALUER

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

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

En cas de succès, l'intervention se reprend dans un **itinéraire technique** (validé par exemple par l'analyse des résidus sur les produits récoltés).

La lutte phytosanitaire s'inscrit dans le cadre général des « **Bonnes Pratiques Agricoles** » (BPA), et il est indispensable d'associer aux méthodes de lutte spécifiques qui seront employées, l'ensemble des techniques culturales disponibles (rotation, décalage de végétation, travaux du sol, fertilisation raisonnée, etc.) pour obtenir une protection optimale, en valorisant le rôle et l'impact des facteurs agronomiques et écologiques.

Les questions à régler par l'agriculteur portent sur :

- Identification correcte des ravageurs, maladies ou adventices
- Estimation des pertes observées et potentielles
- La stratégie d'intervention (timing et la combinaison des interventions)
- Le choix de la (des) méthode(s) de lutte
- L'absence de mesures préventives
- La difficulté d'accès à l'information (surtout dans les pays ACP)

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

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

Modalités d'intervention

- Les pratiques culturales

Rotation des cultures

Quel que soit le type de production réalisé, la **rotation des cultures** présente divers avantages sur le plan phytosanitaire :

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

Choix et aménagement des parcelles

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

Date de semis

C'est en perturbant la coïncidence (« décalage de végétation ») souvent nécessaire entre un stade de développement déterminé de la plante hôte (ex : stade plantule) et le stade contaminant ou infestant de la maladie ou du ravageur qu'il est possible de réduire les

dégâts occasionnés aux cultures. Pour déterminer la date de semis la plus propice, le cycle de croissance et de développement de la culture doit être confronté à **la dynamique des populations** des ravageurs.

L'association des cultures

Il semble que certaines cultures associées à d'autres aient une incidence sur la dynamique des ravageurs (favorisant les insectes ou les détournant de la culture principale) ou sur le renforcement de la densité de l'entomofaune utile.

La destruction des résidus de récolte

La destruction des résidus de récolte est une pratique ancienne et efficace lorsqu'une inter-campagne stricte peut être respectée. Privés de leur plante-hôte, les ravageurs s'adaptent en entrant en diapause ou migrent vers d'autres hôtes ou d'autres lieux. La réduction du nombre de plantes hôtes pendant la saison sèche ou la saison froide rend aléatoire la survie des espèces à faible pouvoir migratoire. Dans le cas des insectes monophages ou oligophages, qui survivent à l'état de diapause, une destruction soigneuse des résidus de récolte permet de limiter les populations. Cette opération est effectuée par action mécanique grâce à un gyro-broyage ou en faisant consommer les parties vertes de la plante par des animaux domestiques. Pour les espèces en diapause dans les couches superficielles du sol, le labour est efficace. Les chrysalides, remontées à la surface du sol, sont détruites par la chaleur ou par les prédateurs. Il est également courant, en Afrique, de couper les restes de cultures, notamment les cotonniers puis de les brûler. Cette pratique est peu efficace si l'on détruit seulement les tiges et il faut supprimer aussi les repousses. En effet, on peut observer sur les repousses la multiplication de certains ravageurs (Homoptères), ou la concentration d'agents infectieux (virus et mycoplasmes). Le brûlis ne permet pas la maîtrise des mauvaises herbes aux périodes les plus critiques pour les cultures.

Les labours

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

La fertilisation raisonnée

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

- Utilisation des ressources phytogénétiques

Pouvoir disposer d'un **matériel végétal résistant**, ou au moins **tolérant** aux maladies et aux différents ravageurs, représente naturellement la solution idéale pour les agriculteurs, bien qu'elle ne soit pas définitive dans la mesure où pathogènes et ravageurs peuvent contourner cette résistance ou cette tolérance. La sélection de variétés intéressantes, productives et résistantes aux maladies, a été pratiquée intuitivement par les agriculteurs depuis la naissance même de l'agriculture. La **résistance** peut se définir comme la capacité d'une variété à produire une récolte plus abondante, de bonne qualité, que les variétés ordinaires pour une même densité de ravageurs. La résistance à une maladie ou un ravageur peut être totale ou partielle. La **tolérance** indique la capacité d'une variété à se développer et à se reproduire en dépit de l'existence d'une population de ravageurs identique à celle qui endommage une variété sensible. L'utilisation de variétés résistantes et tolérantes favorise également la survie des espèces utiles ; cette méthode s'inscrit donc naturellement dans le cadre de la lutte intégrée.

Les techniques de **sélection variétale** peuvent avoir pour objet de réduire la population du ravageur (inhibition de son développement et de sa multiplication) ou d'accroître la tolérance de la plante cultivée. La sélection porte sur des **critères morphologiques** (ex : développement de la pilosité sur les tiges ou les feuilles), ou le plus souvent sur des **critères biochimiques** tels que la production de substances toxiques ou anti-appétantes qui affectent la croissance ou la multiplication du ravageur. En plus d'une sélection variétale basée sur la résistance ou la tolérance des plantes cultivée aux ravageurs et maladies, la variété sélectionnée doit également posséder des caractéristiques qui la rendent agronomiquement intéressante. Selon la culture considérée, les critères de sélection peuvent être le rendement, la taille, le port, la réponse aux engrais, etc.

Les progrès réalisés en génie génétique permettront d'élargir encore davantage la gamme des opportunités et des choix d'un type nouveau en matière de plantes résistantes aux parasites et de cultures résistantes aux herbicides. Les **plantes transgéniques (OGM)** constituent un nouveau moyen de diffuser des agents biologiques, en introduisant par exemple dans la plante des protéines insecticides grâce à des méthodes de génie génétique (« gène Bt »). Un insecte ravageur ne meurt que s'il se nourrit de cette plante. Les organismes non-cibles sont épargnés. Avec les plantes transgéniques, de nouvelles voies s'offrent aux agriculteurs mais un suivi attentif reste nécessaire afin de retarder ou de prévenir le développement de phénomènes de résistance.

- La lutte biologique

La lutte biologique est une méthode qui consiste à combattre un ravageur par **l'utilisation ou la promotion de ses ennemis naturels**. Même si en pratique les succès de la lutte biologique, utilisée seule, sont limités, cette méthode a fait l'objet de nombreux travaux de recherche et d'essais dans le monde entier. Elle était d'ailleurs parfois utilisée intuitivement depuis longtemps par les paysans forts de leurs observations. Elle prend tout son sens et révèle ses potentialités quand elle est associée aux autres méthodes de lutte dans le cadre plus global de la lutte intégrée. Les modalités développées étant très nombreuses, on ne pourra décrire que les principaux moyens utilisés.

Introduction de parasitoïdes ou prédateurs

Les ennemis naturels des ravageurs des plantes cultivées constituent un monde d'une grande complexité qui joue un rôle essentiel dans la régulation des populations de leurs hôtes. Sans ces précieux auxiliaires, les principaux ravageurs combattus pulluleraient de manière quasi permanente. La faune indigène n'est pas toujours suffisante pour assurer un bon équilibre, d'autant moins qu'un ravageur a été malencontreusement implanté dans un pays. Des introductions de *parasitoïdes* ou de *prédateurs* peuvent aider à résoudre certains problèmes.

Utilisation des organismes pathogènes

On peut, pour mener à bien la lutte biologique, mettre à profit certains antagonismes vivants ou bien enrichir ou renforcer les processus de régulation naturelle susceptibles d'assurer l'accroissement potentiel ou actuel des ressources végétales et animales. Les spécialistes de la lutte microbiologique contre les ravageurs des cultures regroupent habituellement sous le terme générique « germes entomopathogènes » non seulement les *bactéries*, les *champignons* et les *virus*, mais aussi les protozoaires et les nématodes.

- La lutte chimique

a) Passer progressivement de la lutte chimique raisonnée à la lutte intégrée...

La lutte chimique raisonnée est **la première étape indispensable** (avant la mise en place d'une stratégie plus globale de « lutte intégrée ») et consiste en un aménagement progressif de l'utilisation des pesticides grâce à la mise en jeu d'outils divers que sont :

- ✓ La **mise en place d'un cadre législatif** et des **infrastructures de contrôle** efficaces, permettant d'une part de recourir à des procédures d'achats des pesticides justifiés en quantité et en qualité, et d'autre part de restreindre l'usage des produits les plus toxiques (pesticides appartenant aux classes OMS Ia, Ib et éventuellement ceux appartenant à la classe II dont la DL₅₀ est inférieure à 100).
- ✓ La **connaissance des propriétés biologiques** (essais d'efficacité / sélectivité / rendement) et **physico-chimiques** (persistance et écotoxicologie) des pesticides pour orienter le choix des agriculteurs vers des molécules plus compatibles dans le cadre d'une régulation intégrée des parasites et économiquement viables.
- ✓ La **formation des agriculteurs** au suivi des cultures (**interventions sur seuil**) et des **applicateurs** aux techniques d'application et à la prévention des risques encourus par eux-mêmes, les animaux et l'environnement (**programmes de stewardship**).
- ✓ La **définition des modalités d'intervention (en combinant choix du pesticide, nature de la formulation, et techniques d'application)** les plus efficaces et les plus sûres pour l'environnement, et permettant de gérer au mieux le risque d'acquisition d'une résistance aux pesticides chez les parasites.

Le respect de ces modalités, des consignes de sécurité d'emploi, de stockage et d'élimination des produits non utilisés ou périmés, des emballages vides ainsi que des restes de bouillie, est la base des « **Bonnes Pratiques Phytosanitaires** » (sorte de Code de Conduite). Mises en œuvre dans le cadre plus global d'un itinéraire technique validé sur une culture donnée, elle sont un élément des « **Bonnes Pratiques Agricoles** » qui garantiront au consommateur une bonne **Qualité Sanitaire** de la denrée.

b) Choisir les produits en fonction du cadre réglementaire...

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

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

c) Organiser une traçabilité complète ...

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

- La date d'application (et par rapport à la date de semis),
- Le produit utilisé (nom complet, fournisseur, formulation, n° lot, etc.),
- La dose d'emploi réellement utilisée,
- Le volume de bouillie
- Le type d'application (appareil, buse, volume/ha, largeur de travail, vitesse, vent, etc.).

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

- La lutte intégrée

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

La lutte intégrée (« *IPM, Integrated Pest Management* ») est une démarche qui vise à contenir les dégâts causés par les parasites à des niveaux économiquement acceptables dans le cadre de la production locale au moyen de méthodes de lutte autant que possible naturelles. Elle privilégie la prévention des infestations par le recours à des techniques culturales adaptées et le recours à la lutte biologique aux dépens des pesticides qui ne sont utilisés qu'à bon escient et de façon sélective, lorsqu'aucune autre solution n'est disponible ou économiquement viable. Elle fait également appel aux ressources phytogénétiques avec l'utilisation de plantes adaptées aux conditions écologiques, résistantes ou tolérantes à certaines maladies et insectes.

Enfin, la régulation des ravageurs et maladies est une stratégie d'ensemble, globalisante, visant à la gestion équilibrée de la protection phytosanitaire. Elle élargit donc le champ des

possibilités d'intervention à l'ensemble des éléments jouant un rôle dans la régulation des organismes nuisibles, que ce soit par la lutte biologique, par l'utilisation des variétés résistantes et des techniques culturales ou par le recours aux produits phytosanitaires.

Cependant, pour être développée efficacement, la lutte intégrée doit prendre en considération trois points clés :

- **La coordination entre la recherche et les agriculteurs et la vulgarisation :** la recherche appliquée constitue le fondement des stratégies de protection intégrée. Recueillir les acquis de la recherche en matière de lutte intégrée doit donc constituer la première étape. Il est souvent possible de mettre sur pied un projet pilote sur base des connaissances expérimentales disponibles, à condition que chercheurs, industrie phytosanitaire, services de vulgarisation et agriculteurs prennent des dispositions efficaces pour assurer en commun le suivi de l'impact et développer et perfectionner la stratégie par des recherches supplémentaires. La recherche doit être appliquée et subordonnée à la formation. Ce sont les questions des agriculteurs qui doivent orienter le programme de recherches. Les recherches privilégiant la participation des agriculteurs contribuent, en leur apportant connaissances et compréhension, à renforcer leur assurance.
- **La formation est une des composantes essentielles de tout programme de lutte intégrée :** l'adoption et la mise en œuvre de la lutte intégrée requièrent, de la part des agriculteurs, une gamme de connaissances et de compétences pratiques, parmi lesquelles :
 - l'identification des parasites et mauvaises herbes, des organismes utiles, et de leurs utilisations
 - la surveillance des champs,
 - les principes écologiques de base,
 - les tactiques biologiques et culturales de lutte contre les parasites,
 - la notion de seuils économiques d'application des pesticides,
 - le choix des pesticides et de leurs formulations,
 - leurs modes d'application,
 - les aspects financiers de différents scénarios de lutte contre les parasites.

Les programmes de formation reposent généralement sur le concept de formation des formateurs. Les formateurs à former peuvent appartenir à des services publics de vulgarisation, des firmes phytosanitaires, des ONG. La formation des prescripteurs officiels et privés, des distributeurs et des détaillants constitue un maillon important et exerce une influence directe auprès de l'agriculteur. Cette formation ne doit en aucun cas être isolée ou localisée dans des projets (cas de l'échec relatif des projets de lutte intégrée en Asie).

- **L'appui des politiques gouvernementales :** les programmes nationaux de protection intégrée ne peuvent réussir que s'ils bénéficient de l'appui de politiques gouvernementales dynamiques en matière de protection des cultures. La lutte intégrée doit devenir une partie intégrante et significative des politiques agricoles nationales pour que d'autres actions de promotion puissent suivre.

Sécurisation de l'application

L'emploi des pesticides est la source de nombreux problèmes pour la santé des opérateurs, des consommateurs et pour l'environnement, particulièrement dans les pays ACP, étant donné le faible niveau moyen de compétence observé chez les applicateurs. L'OCDE en 1995 a dressé un inventaire des principaux problèmes liés à l'usage des pesticides :

- ✓ la facilité d'accès à des pesticides inappropriés à l'usage de petites exploitations agricoles (produits très toxiques, conditionnements inadaptés, etc.).
- ✓ l'ignorance générale des agriculteurs quant aux dangers liés à la manipulation des produits.
- ✓ le manque de vêtements de protection ou du matériel d'application appropriés.
- ✓ l'absence fréquente d'étiquetage comportant des instructions complètes pour la manipulation, l'utilisation et l'élimination du produit.
- ✓ l'usage de pesticides persistants et inappropriés sur les cultures alimentaires.
- ✓ la non-observation des délais minimaux entre la dernière application des pesticides et la récolte (résidus).
- ✓ la réutilisation d'emballages de pesticides vides pour entreposer la nourriture ou l'eau.
- ✓ le reconditionnement impropre de pesticides par des détaillants non autorisés.
- ✓ l'absence d'installation pour l'entreposage des pesticides.
- ✓ l'absence d'installations propres à l'élimination des pesticides périmés.
- ✓ l'absence de connaissances médicales nécessaires pour soigner les personnes victimes d'intoxication par les produits chimiques toxiques.

- Toxicité aiguë et toxicité chronique

D'une façon générale, les produits phytosanitaires peuvent développer deux types de toxicité: la **toxicité aiguë** et la **toxicité chronique**. Il n'y a **pas nécessairement une liaison entre toxicité aiguë et chronique**: un pesticide à forte toxicité aiguë peut avoir une toxicité chronique peu élevée et vice versa (ex : captafol). La **gravité des effets** nocifs éventuels résultant de l'exposition à un pesticide dépend de nombreux facteurs :

- la dose d'emploi,
- les modalités et la durée d'exposition,
- le degré d'absorption (**surtout par la peau**),
- la nature des effets de la matière active et de ses métabolites,
- l'accumulation et la persistance du produit dans l'organisme.

L'**état de santé de la personne** en cause joue également un rôle. Il est probable que la malnutrition et la déshydratation renforcent la sensibilité aux pesticides. De même, l'élévation de la température ambiante aggrave souvent l'effet toxique des pesticides. Lorsqu'on utilise simultanément deux ou plusieurs pesticides, il peut y avoir des phénomènes de synergie ou, au contraire, d'antagonisme. Le mécanisme de la toxicité des pesticides pour les mammifères n'est bien élucidé que pour quelques groupes seulement de composés. Vis-à-vis de l'homme, et sauf quelques exceptions notoires (ex: paraquat), **les composés les plus toxiques sont les insecticides**. Certains herbicides présentent également une toxicité réelle pour l'homme. Etant donné leur mode d'action, les fongicides sont généralement beaucoup moins toxiques.

Toxicité aiguë

Les intoxications aiguës apparaissent rapidement après une exposition à un ou plusieurs produits, et peuvent avoir des conséquences gravissimes. Elles nécessitent des soins médicaux, voire une hospitalisation, et peuvent donner lieu à une réparation en accident de travail ou en maladie professionnelle, ce qui explique que leurs manifestations sont relativement bien connues. La toxicité aiguë d'un produit chimique biologiquement actif, pour l'homme ou l'animal, est sa capacité à provoquer une altération des fonctions vitales **après absorption d'une dose unique**.

Elle est généralement exprimée sous forme de « dose létale 50 » ou **DL₅₀**, qui est l'estimation statistique du nombre de milligrammes par kilo de poids corporel (en mg/kg) nécessaires pour tuer 50% d'une large population d'animaux de laboratoire, le plus souvent le rat. A partir de ces résultats, on peut par extrapolation en déduire raisonnablement, mais sans certitude absolue, la toxicité éventuelle pour l'homme.

Toxicité chronique

Les intoxications chroniques surviennent après une exposition prolongée à des doses faibles et répétées. La toxicité chronique caractérise les risques encourus à long terme par l'absorption répétée de petites quantités de substance. Les conséquences en sont mal connues pour les raisons suivantes :

- diversité des produits utilisés par les agriculteurs,
- complexité des formulations des produits,
- méconnaissance des effets dus aux mélanges de produits entre eux.

Les signes d'intoxication chronique apparaissent soit parce que:

- **le poison s'accumule dans l'organisme c'est-à-dire que** la quantité de produit éliminée est inférieure à la quantité absorbée ;
- les effets, causés par **les expositions répétées, s'additionnent** (sans accumulation du produit dans l'organisme).

L'exposition à long terme peut avoir diverses origines :

- **usage fréquent** du produit,
- **pollution diffuse** du produit dans l'environnement (contamination de l'air, des sols, mais surtout des points d'eau, des puits, etc.), par dérive ou entraînement du produit (ruissellement, lessivage, volatilisation).
- **résidus** du produit sur les denrées récoltées (surtout si le délai de carence n'est pas respecté ou si le produit a été utilisé sur la culture alors qu'il n'est pas recommandé pour l'usage en question) (ex : produits insecticides du coton utilisés en maraîchage ; ces produits ne sont généralement pas recommandables sur les légumes en raison de leur toxicité élevée, de la forte concentration en M.A. dans la formulation et de la persistance du produit sur la culture)
- **accumulation** du produit dans la chaîne alimentaire (bioaccumulation)
- **port de vêtements souillés** (et pollution de l'environnement de travail de l'agriculteur par manque de soins et d'entretien).

Pour expliquer la toxicité chronique, deux notions sont fondamentales :

1. la **rémanence, à savoir la persistance du produit dans l'environnement et les êtres vivants**, en relation avec leur stabilité chimique : les insecticides organochlorés (DDT, HCH, endosulfan, lindane,...) sont considérablement plus persistants que les organophosphorés (méthamidophos, chlorpyrifos, profénofos, triazophos, ...) ou les pyréthrénoïdes (cyperméthrine, deltaméthrine) ;

2. l'**affinité** pour les tissus biologiques, en particulier la **liposolubilité** (solubilité dans les graisses) qui conditionne la fixation prolongée dans les organismes vivants.

Ces 2 conditions nécessaires et suffisantes confèrent à un agent chimique un **pouvoir bio-cumulatif**, c'est-à-dire une capacité à s'accumuler à partir du milieu dans les êtres vivants et à y persister. De plus, une telle substance subit une **concentration par les chaînes alimentaires** : d'un niveau à l'autre, les taux accumulés augmentent, jusqu'à atteindre des valeurs très élevées dans les maillons terminaux (carnivores, rapaces, homme...) entraînant des risques de toxicité chronique.

Des effets à long terme peuvent être observés expérimentalement chez l'animal mais, à quelques rares exceptions, il existe peu de données fiables chez l'homme faute d'études épidémiologiques complètes. Dans le doute, on émet donc des recommandations de précaution pour les produits « suspects ». L'effet toxique peut se traduire par des **manifestations cliniques** (amaigrissement, troubles hépatiques, rénaux, cutanés, etc.) mais souvent, les effets sont dits sub-cliniques et se traduisent par des **altérations physiologiques** telles que des modifications enzymatiques, notamment dans le sens d'une augmentation de certaines activités enzymatiques (induction enzymatique).

- **Il ne faut pas confondre toxicité et danger (ou « risque »)**

Les risques de santé encourus lors de la manipulation de pesticides peuvent pratiquement être éliminés à condition que le manipulateur agisse avec prudence, utilise les moyens de protection préconisés et respecte les précautions d'emploi indiquées sur l'étiquette de chaque produit.

$$\text{Le danger (risque)} = \text{toxicité} \times \text{exposition} \times \text{temps (d'exposition)}$$

- **La pénétration des produits phytosanitaires**

Pour exercer son action biologique, la matière active doit atteindre un tissu ou un organe sensible; elle doit par conséquent pénétrer dans l'organisme par une voie quelconque. Sa rapidité d'action dépend en grande partie de la **vitesse** à laquelle la matière active atteint le système circulatoire. L'absorption du pesticide dépend beaucoup du **solvant**. Quel que soit le type de composé, les signes d'intoxication apparaissent plus vite lorsque la dose est forte et absorbée par voie orale, et moins vite quand la dose est faible et absorbée par voie dermique. Il existe trois voies principales de pénétration :

- **orale** (gastro-intestinale),
- **respiratoire** (par inhalation)
- **dermique** (à travers la peau indemne).

Pénétration par la voie orale

L'absorption par voie orale ne constitue pas un danger professionnel sérieux bien qu'elle soit plus fréquente en cas d'ingestion voulue (suicide ou homicide) ou accidentelle. Elle peut provenir :

- d'éclaboussures accidentelles de produit dans la bouche ;
- d'**ingestion accidentelle** due à de mauvaises conditions de stockage :
 - dans un endroit non fermé à clef à proximité de produits alimentaires ou de
 - médicaments;

- dans des bouteilles ou emballages autres que celui d'origine ;
- dans un endroit directement accessible par les enfants ;
- de petites quantités de produit peuvent être absorbées si le manipulateur mange, fume **sans s'être lavé les mains** ou lorsqu'il veut déboucher une buse en soufflant dedans.

Pénétration par voie dermique

La surface de la peau est recouverte d'une fine pellicule d'un enduit gras (le sébum) qui la rend imperméable à l'eau; la composition de la partie superficielle de la peau est assez semblable à la cuticule des plantes ou des insectes. Mais **la peau reste perméable aux produits gras** (ex : solvants huileux), tout comme la cuticule, cette propriété étant d'ailleurs utilisée en thérapeutique (crèmes et pommades). Les produits phytosanitaires, qui sont formulés pour franchir la cuticule cireuse des plantes (EC), sont également capables de **traverser la peau** et de passer dans la circulation sanguine. Ce passage est **accentué par la chaleur** qui provoque une dilatation des vaisseaux capillaires sous-cutanés. Il peut l'être aussi en présence de contusions, de plaies ou d'excoriations. Les **muqueuses** sont elles aussi très perméables, d'autant qu'elles sont très vascularisées, en particulier au niveau de la **bouche** et des **yeux**.

L'absorption par voie dermique est la voie de pénétration la plus importante dans l'organisme et la plupart des pesticides utilisés pour des raisons professionnelles. A cause des solvants, les **formulations EC** présentent donc un risque plus élevé de contamination par cette voie. Elle peut être due à :

- des éclaboussures ou fuites du produit directement sur la peau ou à travers les vêtements de protection pendant la préparation de la bouillie ou pendant la pulvérisation (fuites du réservoir du pulvérisateur)
- une dérive du produit pendant l'application
- un contact avec la culture traitée
- un port de vêtements contaminés.

Même les dépôts invisibles d'insecticides peuvent pénétrer une peau indemne et provoquer une intoxication s'ils ne sont pas éliminés par le lavage (ou à défaut, essuyés immédiatement avec des chiffons ou de la paille).

Pénétration par inhalation

Les caractéristiques physiques de la matière active, sa formulation et sa technique d'application sont les facteurs qui déterminent l'importance de l'absorption par voie respiratoire pour une exposition donnée. Le système respiratoire est essentiel pour les échanges entre le milieu extérieur (air ambiant) et l'intérieur du corps (circulation sanguine qui transporte l'oxygène et le gaz carbonique). La surface des alvéoles pulmonaires (150 à 200 m² si on les déployait) permet donc le passage rapide des substances inhalées dans la circulation sanguine. La contamination peut se faire par des :

- vapeurs (il faudra se méfier particulièrement des produits à forte tension de vapeur)
- poussières (poudres)
- des brouillards
- des aérosols

Problématique des résidus et protection des consommateurs

- Introduction

En réaction aux différentes crises alimentaires survenues au cours de ces dernières années, le consommateur européen manifeste **une inquiétude croissante quant au niveau de sa sécurité alimentaire**. En conséquence, plus encore que par le passé, les différentes filières agricoles et en particulier celles qui intègrent le secteur des fruits et légumes doivent être conscientes des exigences qui leur sont et seront imposées au niveau des résidus de produits phytosanitaires et de l'extension des contrôles de leurs productions.

- Du dépôt aux résidus de produits phytosanitaires

Dès sa formation, le **dépôt du produit phytosanitaire tend à diminuer** sous les effets conjugués de l'environnement et des caractéristiques du substrat végétal. Il est, en effet, engagé dans des phénomènes de *dilution*, de *transport* (lessivage, volatilisation) et de *transformation* (*dégradation* - *métabolisation*). A moins d'être appliqué sur un végétal arrivé à un stade de développement ultime (les traitements post-récolte) l'augmentation de la surface et de la masse du végétal sont responsables d'une première diminution de la concentration de la substance active au niveau du produit commercialisé (dilution). Les phénomènes de transport (lessivage et volatilisation) concourent, eux aussi, à la décroissance du dépôt initial. Les pertes par lessivage dépendent autant des caractéristiques pluviométriques (durée, intensité) que de la solubilité aqueuse de la matière active. Elles sont cependant altérées par son adhérence au substrat végétal. Cette même adhérence limite la tension de vapeur de produit phytosanitaire qui, en même temps que la fréquence du renouvellement de l'air au niveau des épidermes végétaux, expliquent les pertes par volatilisation. La *photolyse* et l'*hydrolyse* sont les deux principaux processus physico-chimiques responsables de la dégradation.

En altérant la structure des molécules initiales, la **dégradation** et/ou la **métabolisation** participent à la décroissance du dépôt initial. Si un certain nombre de produits restent à la surface du végétal (*produits de contact*), d'autres y pénètrent (*produits pénétrants*) et surtout se redistribuent à l'intérieur de ceux-ci (*produits systémiques* ou *télétoxiques*). L'absorption foliaire peut s'accompagner d'une redistribution limitée du produit vers les jeunes feuilles via la tige. Au contraire, il peut se répartir dans toute la plante par l'intermédiaire des systèmes de translocation. En cas d'absorption racinaire, si le site d'action n'est pas situé à ce niveau, il y a mouvement dans le sens de la transpiration et apparition de la molécule du phytosanitaire au niveau des jeunes feuilles avec possibilité de redistribution ou non. La métabolisation intéresse les substances actives pénétrantes et systémiques. Par réactions successives, il est possible d'atteindre des molécules simples ou naturelles (NH₄, CO₂, etc).

- Définitions du résidu

A l'exception des molécules simples ou naturelles, toutes les entités qui dérivent de la molécule initiale de pesticide doivent être considérées comme un résidu au sens biochimique du terme. Par contre, la définition du résidu établie par le **Codex alimentarius** (FAO/OMS) ou les **Directives européennes** est plus restreinte. Elle se limite à la molécule initiale et aux substances dérivées spécifiques, comme les produits de dégradation, les métabolites et les impuretés *qui présentent une certaine importance toxicologique*.

- Evaluation du risque de toxicité chronique liée aux résidus de pesticides

En présence de résidus contenus dans ses denrées alimentaires (fraîches ou après transformation), le consommateur est essentiellement confronté à un risque sur le long terme dû à des ingestions répétées de doses faibles (**toxicité chronique**). L'évaluation de ce risque requiert la connaissance de la *toxicité intrinsèque* de ce résidu (le danger) mais aussi d'estimer *l'exposition réelle du consommateur* à ce résidu. Il est nécessaire de définir ce que l'on entend par « DES », « DJA » et de calculer sur cette base le risque d'exposition du consommateur.

*La recherche d'une **Dose Sans Effet (DSE)** chez l'animal*

La durée des essais de toxicité chronique porte sur les effets d'une ingestion quotidienne qui peut atteindre 2 ans sans jamais descendre en dessous de 18 mois. Ils prennent en compte toutes les fonctions vitales de l'animal avec une attention particulière aux effets mutagènes, tératogènes, et cancérogènes. Ils sont complétés par des études de reproduction sur plusieurs générations. L'ensemble de ces études permet de fixer une **dose sans effet (DSE)** sur l'animal. La DSE se définit comme la dose maximale de substance qui, ingérée quotidiennement durant toute sa vie et chez l'animal le plus sensible, n'entraîne aucun effet négatif dans les conditions actuelles des connaissances. Elle s'exprime en milligramme (mg) de substance par kilogramme de poids vif (Kg) et par jour (j).

*La détermination de la **Dose Journalière Acceptable (DJA)** pour le consommateur*

La dose journalière acceptable correspond à la quantité maximale de produit pouvant être absorbée quotidiennement par un homme toute sa vie durant, sans que cela se traduise par l'apparition d'un quelconque effet négatif et cela toujours dans l'état des connaissances actuelles. La DJA se calcule en divisant la DSE par un coefficient de sécurité au moins égal à 100 (parfois à 500 ou à 1000) : la DJA = DSE / 100. Ce facteur minimal de 100 permet d'intégrer la variabilité inter-espèce (on se garantit pour le cas où l'homme présenterait une sensibilité 10 fois supérieure à celle de l'animal le plus sensible) et intra-espèce (parmi les humains certains sont plus sensibles que d'autres, 10 fois correspond à une marge de sécurité confortable). La DJA comme la DSE s'exprime en mg de substance par Kg de poids vif. La quantité quotidienne maximum de produit qu'un homme peut ingérer toute sa vie sans risque pour sa santé est calculée pour un individu de 60 kg.

Exposition du consommateur au résidu et estimation du risque d'intoxication

Pour estimer le risque d'exposition, il y a lieu de multiplier, pour chacune des denrées figurant dans l'alimentation du consommateur, la *concentration en résidus* (déterminée expérimentalement) par la *consommation* (quantité consommée) de cette même denrée et d'en sommer les résultats :

$$\text{Exposition} = \sum_{i=1}^n [\text{résidu}]_i \times \text{consommation}_i$$

$[\text{résidu}]_i$ = concentration en résidus dans la composante i de l'alimentation :

consommation_i = consommation de cette composante :

Il faut prendre en compte les **habitudes alimentaires** des consommateurs. Actuellement on tend vers une consommation spécifique de chaque aliment, estimée à partir d'un « panier de la ménagère ». La grande difficulté de cette méthode est la définition de ce « panier ».

Malgré les efforts du Codex alimentarius, il reste établi sur une base régionale (l'Europe du Nord ou méditerranéenne) et parfois même nationale.

On peut estimer le **risque potentiel d'intoxication** en utilisant dans un calcul la *concentration maximale en résidus admise* (c'est-à-dire **LMR**, qui a été établie expérimentalement) multipliée par la *consommation moyenne quotidienne* de chaque denrée (c'est l'Apport Journalier Maximum Théorique ou **AJMT**) qui est ensuite comparé à la DJA. Si la valeur de l'AJMT/60 est inférieure à la DJA, la molécule ne pose aucun problème et l'évaluation de son risque de toxicité chronique est nulle. Au contraire si cette valeur dépasse la DJA, il y a lieu de recourir à une approche qui tout en restant réaliste s'avère moins drastique.

En effet, pour tenir compte qu'un végétal déterminé n'est pas nécessairement traité par le même pesticide et que même s'il l'a été, tous les aliments consommés (soit en frais ou après transformation) ne présentent pas nécessairement des résidus atteignant la LMR agricole, il est prévu de remplacer l'AJMT par l'AJE (ou **Apport Journalier Estimé**). Ce paramètre est calculé suivant le même principe que l'AJMT mais la LMR agricole, dans le calcul, est remplacée par la médiane des résultats des analyses des échantillons prélevés à la récolte. De plus, ces résultats sont affectés de coefficients de réduction pour tenir compte :

- De la valeur du résidu sur la partie réellement consommée de la denrée, alors que la LMR a été déterminée sur le fruit ou le légume entier,
- De l'influence éventuelle des procédés industriels de transformation (mouture) ou de préparation à la consommation (lavage).

Si cette valeur de AJE est inférieure à la DJA, l'autorisation d'utilisation pour les usages sollicités est acceptée. Si au contraire, la valeur de AJE reste supérieure à la DJA, l'usage du produit sera refusé à moins que des modifications dans les conditions de son utilisation permettent de descendre en dessous de la DJA.

On voit l'**importance de disposer de valeurs de LMR** pour chaque couple « denrée x pesticide » pouvant figurer dans l'alimentation des consommateurs européens. Or, si les valeurs de DJA sont généralement disponibles (car obligatoirement fournies dans les dossiers d'évaluation des substances actives avant leur mise sur le marché), *les valeurs de LMR sont souvent inexistantes* (elles n'ont pas été établies pour la denrée concernée).

Déterminer les LMR et estimer le risque pour le consommateur

- Détermination des concentrations réelles en résidus pour établir la LMR

Au niveau européen, des LMR sont également élaborées dans le cadre de Directives (« LMR harmonisées ») que les Etats membres sont obligés de transposer afin de gommer les disparités qui peuvent être la source d'entraves aux échanges commerciaux (barrières commerciales non tarifaires). Pour établir des LMR dans le contexte européen, il convient d'examiner l'ensemble des **pratiques agricoles autorisées** dans les différents Etats membres et de déterminer celle qui risque d'entraîner les plus grandes quantités de résidus à la récolte. C'est sur la base de cette « **pratique agricole critique** » que les normes européennes de LMR seront établies.

L'analyse à la récolte d'échantillons représentatifs prélevés dans les cultures traitées par le pesticide dans des conditions réalistes mais *les moins favorables* conduit à la détermination de Limites Maximales de Résidus pour cette récolte (**LMR agricole**). Suivant les cas, on retiendra dans les calculs ultérieurs soit la moyenne arithmétique, soit la médiane.

Techniquement, pour que les résultats de ces essais soient acceptés au niveau international, la fixation des LMR requière la réalisation d'études en conditions pratiques où le pesticide est appliqué strictement selon les exigences des **Bonnes Pratiques Agricoles (BPA)** préconisées (répétition des essais dans l'espace pour tenir compte de la diversité des zones agricoles et de la variabilité dans chacune d'elles ainsi que des répétitions dans le temps). De plus, les analyses doivent se conformer aux principes de l'OCDE sur les **Bonnes Pratiques de Laboratoire (BPL)**. Il est évident que de nombreux facteurs peuvent influencer la valeur finale du résidu: les conditions atmosphériques, la variété du végétal, le matériel d'application utilisé, etc. C'est pourquoi ces études doivent être répétées dans diverses conditions afin de faire intervenir toutes les sources d'influence possibles. On considère qu'un minimum de **8 études indépendantes** sont nécessaires pour obtenir une information représentative. Les résultats de ces essais sont soumis à *une analyse statistique* qui a pour but de déterminer la valeur maximale que le résidu peut potentiellement atteindre dans la pratique. La LMR est fixée à partir de cette analyse statistique.

La réalisation des études sur les résidus de pesticides est très coûteuse et l'industrie a aujourd'hui tendance à ne réaliser ces études que pour les cultures cultivées à grande échelle, consommatrices de grandes quantités de pesticides. Peu d'investissements en faveur des *cultures mineures* sont par contre consentis par les fabricants de produits phytopharmaceutiques pour des raisons de rentabilité. Pour toutefois maintenir la présence de produits autorisés sur les petites cultures, le nombre minimum d'études indépendantes a été réduit à 4. D'autre part, un *mécanisme d'extrapolation* a été mis en place. Il est en effet possible dans certains cas d'extrapoler la LMR fixée pour une culture majeure à une culture mineure, pour autant qu'il y ait une similitude morphologique entre les 2 cultures, que les ennemis et les traitements phytosanitaires soient les mêmes et que les BPA soient suffisamment comparables.

Une fois établies, les LMR poursuivent un double but : *protéger la santé du consommateur et contrôler le respect des pratiques agricoles autorisées*. Les LMR ne sont en effet pas seulement une barrière toxicologique à ne pas dépasser, mais **également un moyen de dépister et de sanctionner l'utilisateur qui ne respecterait pas l'usage conforme du produit phytopharmaceutique**. La façon de fixer les LMR est donc telle que le non

respect de la pratique agricole autorisée (emploi de doses exagérées, non respect du délai minimal avant récolte) risque d'aboutir à des **teneurs en résidus illégales**.

On voit l'**importance de disposer pour chaque culture d'un « itinéraire technique » validé** (par l'analyse des résidus sur les denrées récoltées).

- LMR et risques de toxicité liée aux résidus de pesticides

Sur le plan toxicologique, on vérifie que les résidus n'entraînent pas de risque pour la santé du consommateur, tant à court terme qu'à long terme. Le niveau d'exposition moyen à **long terme** du consommateur, de même que **son niveau d'exposition maximal au cours d'un seul repas** sont dans ce but calculés selon des principes établis par l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) et respectivement comparés à la dose journalière admissible et à la dose aiguë de référence, deux paramètres fixés sur base du dossier toxicologique de la substance. Si l'exposition à court ou à long terme dépasse ces paramètres, la pratique agricole proposée est refusée et aucune LMR n'est fixée.

Toxicité chronique

Les LMR sont généralement beaucoup plus basses que les limites toxicologiques à ne pas dépasser. Elles ne peuvent cependant jamais les dépasser. Les LMR sont fixées dans la législation pour les produits frais. Les produits transformés sont également soumis à la réglementation et, en cas de contrôle sur un tel produit, la LMR fixée sur le produit frais est appliquée, pondérée d'un facteur de concentration ou de dilution dépendant du type de transformation subie.

Toxicité aiguë

Pour tenir compte du risque encouru par le consommateur suite à une ingestion unique, ou à des ingestions très rapprochées (pendant une seule journée) d'une denrée contenant un résidu, il y a lieu de remplacer la notion de risque de toxicité chronique par le risque de toxicité aiguë ou à court terme. C'est le cas où la consommation présentant un caractère très ponctuel rend l'utilisation de la moyenne sur une base annuelle peu représentative du risque.

Toxicité intrinsèque du résidu

Dans ce cas, il y a lieu de remplacer la DJA par la dose de référence aiguë (**A Reference Dose** ou **ARfD**).

Cette dernière est fixée à partir de données toxicologiques sur mammifères soumis à des conditions d'ingestion qui tentent de reproduire au mieux le caractère ponctuel de la consommation humaine. En plus, les critères retenus pour la fixation de l'ARfD sont plus exigeants que ceux qui ont conduit à la détermination de la DJA.

L'extrapolation de cette ARfD à l'homme est obtenue en lui appliquant un facteur de sécurité de 100.

Estimation de la consommation à court terme

L'ingestion estimée à court terme "**I**nternational **E**stimate **S**hort **T**erm **I**ntake" (**IESTI**) ou "**N**ational **S**hort **T**erm **I**ntake" (**NIESTI**) doit prendre en compte :

- La valeur réelle de la consommation.
- Il y a lieu de remplacer la consommation moyenne quotidienne par la valeur de la consommation ponctuelle.
- Le caractère particulier de la consommation.
- Il serait en effet peu réaliste de considérer sur une période très courte de temps (la journée) des ingestions exceptionnelles de plusieurs denrées alimentaires différentes
- La prise alimentaire elle-même.
- Différents facteurs de corrections sont appliqués suivant que la prise alimentaire est à l'image de l'échantillon moyen. Les fruits et légumes de petites dimensions (les haricots ou les fraises, par exemple) sont affectés de facteurs différents de ceux que l'on applique aux denrées constituées par des unités plus volumineuses (les mangues ou les pommes).

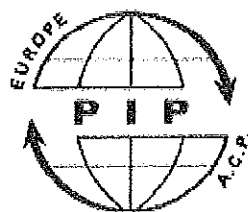
Evaluation du risque de toxicité aiguë liée à la présence de résidus de pesticides

Cette évaluation se base sur la comparaison entre d'une part la ARfD (facteur de toxicité) et d'autre part la IESTI ou la NIESTI. Comme dans le cas de l'évaluation de la toxicité chronique, il y a acceptation ou rejet suivant que ces dernières sont inférieures ou supérieures à la ARfD.

- Conclusions

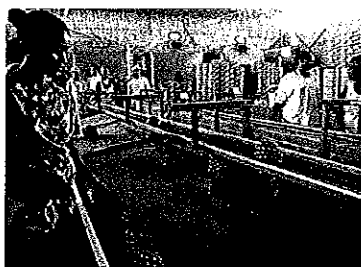
Le contrôle du respect de ces exigences légales dont le renforcement est presque inévitable conduira à une augmentation des frais de production des différentes filières agricoles et en particulier de celle des fruits et légumes. Tout refus de commercialisation pour non respect des normes phytosanitaires ne peut que provoquer des difficultés financières majeures à celui qui le subira. Il est donc nécessaire de favoriser toutes les mesures de prévention qui à moyen terme rétabliront la confiance du consommateur. A cet égard, il est indispensable de n'envisager les traitements phytosanitaires que dans le cadre d'une lutte intégrée.

COLEACP / Programme « Initiative Pesticides »



Atelier

« Stratégies – Qualité Sanitaire »



Gembloux - Belgique

14 – 16 janvier 2003