

PARTIE2 : PESTICIDES

Chapitre 1 : Généralités sur les pesticides

1. Définitions

Le terme de pesticide dérive de "Pest", mot anglais désignant tout organisme vivant (virus, bactéries, champignons, herbes, vers, mollusques, insectes, rongeurs, mammifères, oiseaux) susceptible d'être nuisible à l'homme et/ou à son environnement.

Les pesticides sont, en terme générique utilisé pour désigner toutes les substances naturelles ou de synthèse capables de contrôler, d'attirer, de repousser, de détruire ou de s'opposer au développement des organismes vivants (microbes, animaux ou végétaux) considérés comme indésirables pour l'agriculture, l'hygiène publique (par exemple les cafards dans les habitations), la santé publique (les insectes parasites (poux, puces) ou vecteurs de maladies telles que le paludisme et les [bactéries](#) pathogènes de l' [eau](#) détruites par la chloration, la santé vétérinaire, ou les surfaces non-agricoles (routes, aéroports, voies ferrées, réseaux électriques...), ils sont l'un des rares substances qui sont à la fois toxiques et délibérément rejetés dans l'environnement

Les pesticides sont présents dans presque tous les milieux de l'environnement y compris les eaux de surface, les eaux souterraines, l'air ambiant, la poussière, le sol, le brouillard, la pluie, et la glace

Le terme « pesticide » couvre un champ plus vaste et général que les expressions « produit phytosanitaire » ou « produit phytopharmaceutique » car il englobe tous les produits destinés à lutter contre tous les dits nuisibles, ou indésirables (ex : les champignons qui pourraient attaquer une charpente) et les médicaments vétérinaires destinés à protéger les animaux domestiques, gibiers ou de compagnie (par exemple, le collier antipuces pour chien).

2. Principales familles de pesticides

Les principales familles de pesticides utilisées en agriculture fruitière et légumière sont les fongicides, les herbicides et les insecticides.

2.1 Les insecticides

Les trois plus grandes familles auxquelles appartiennent les insecticides organiques de synthèse sont

2.1.1 Les organophosphorés

Les organophosphorés sont des pesticides utilisés en milieu agricole comme insecticides. Ils appartiennent à la famille chimique des anticholinestérasiques. Ce sont des esters de l'acide phosphorique dont les noms de substances actives sont le plus souvent identifiables par leur terminaison en "phos" ou en "thion".

Les organophosphorés pénètrent dans la plante et ont soit une action de surface et ne sont pas véhiculés dans la plante, soit un effet systémique et diffusent dans la plante.

Au niveau de l'insecte, la pénétration des organophosphorés peut se faire par contact, digestion ou inhalation. Ce sont des molécules neurotoxiques qui bloquent l'activité enzymatique des acétylcholinestérases et empêchent ainsi la transmission de l'influx nerveux.

Les organophosphorés sont très toxiques pour les vertébrés et la plupart des substances actives sont chimiquement instables.

On retrouve trois grands groupes d'organophosphorés :

Les organophosphorés aliphatiques tels que le malathion, le diméthoate ou le dichlorvos, ils sont hautement toxique et peu stable

Les dérivés phényles tels que le parathion, le méthylparathion ou le profenofos et qui sont généralement plus stables que leurs congénères aliphatiques,

Les hétérocycles dont le chlorpyrifos, le méthidathion et le phosmet font partie.

2.1.2 Les organochlorés

Les organochlorés sont des insecticides qui contiennent du carbone, de l'hydrogène et des atomes de chlore. Ces sont les insecticides les plus anciens même s'il persiste actuellement peu de substances actives encore autorisées.

Les organochlorés sont des insecticides qui contiennent du carbone, de l'hydrogène et des atomes de chlore. Ces sont les insecticides les plus anciens même s'il persiste actuellement peu de substances actives encore autorisées.

	Caracteristiques
<u>Le DDT</u>	<ul style="list-style-type: none"> - son efficacité en tant qu'insecticide dans le contrôle des vecteurs de la malaria ou de la fièvre jaune - rémanence et de ses effets nocifs sur les espèces non cibles - empêchait alors la transmission de l'influx nerveux chez les insectes et les mammifères.
<u>Le lindane</u> (ou isomère γ de l'hexachlorocyclohexane)	<ul style="list-style-type: none"> - un insecticide neurotoxique dont les effets sont foudroyants - utilisé dans de nombreux produits antiparasitaires à usage vétérinaire.
<u>Les cyclodiènes</u> les formulations les plus connues : le chlordane, l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore ou l'endosulfan	<ul style="list-style-type: none"> -Ces insecticides agissent en bloquant les récepteurs GABA (acide gamma-aminobutyrique - empêchent alors l'entrée des ions chlorures au niveau neuronal - persistants, stables dans les sols et peu photodégradables - utilisés dans les sols comme termiticides,
Les polychloroterpènes : le toxaphène	<ul style="list-style-type: none"> - des insecticides dont le mode d'action est proche de celui des cyclodiènes. - relativement persistant dans les sols - sa volatilité est un atout - rapidement métabolisé - peu toxique pour les mammifères et les oiseaux - une toxicité importante chez les poissons

3.1.3 Les carbamates

Ce sont des insecticides dérivés de l'acide carbamique, qui agissent en inhibant l'activité enzymatique de l'acétylcholinestérase, inhibition qui peut être réversible dans certains cas.

Le carbaryl est le carbamate le plus utilisé en raison de son spectre d'action très étendu pour les contrôles des insectes et en raison de sa faible toxicité chez les mammifères.

Le carbofuran, l'aldicarbe, le carbosulfan ou encore le fénoxy-carbe sont également des carbamates largement utilisés.

Les pyréthrinoïdes de synthèse

Ils agissent sur le système nerveux central et périphérique des insectes en provoquant une excitation nerveuse répétée aux travers des pompes à sodium. On les considère donc comme des poisons axoniques. Ce sont des insecticides particulièrement efficaces, dont l'utilisation est très répandue, tant dans le domaine agricole qu'en milieu domestique.

2.1.4. Insecticides d'origine végétale :

Ces insecticides sont extraits de diverses plantes par macération, infusion ou décoction. Les plus utilisés sont :

- **Les roténone** : elles sont extraites de racines, feuilles ou graines de légumineuses, ils sont très toxiques pour les poissons et certains insectes qu'elles paralysent (inhibition du complexe mitochondrial I, c-a-d de la chaîne respiratoire à échelle cellulaire) mais sont réputées inoffensives pour les abeilles et peu toxiques pour les animaux à sang chaud. C'est un insecticide de contact, utilisé contre les insectes suceurs et broyeur)
- **La nicotine** : extraite au niveau des feuilles et des tiges du tabac, cet alcaloïde agit par inhalation, ingestion et contact. La nicotine a des propriétés acaricides, insecticides et fongicides. La nicotine se dégrade en 3-4 jours, c'est une substance très toxique pour l'homme, les mammifères et les poissons.

2.2 Les herbicides

Par souci de simplicité, les herbicides seront traités en fonction de leur mode d'application et de leur mode d'action.

3.2.1 Les herbicides appliqués au niveau foliaire			
Mode action	Familles	Caractéristiques	Matières active
Les régulateurs de croissance		-affectent la croissance des plantes en agissant sur la synthèse des protéines et la division cellulaire. - entraîner une croissance anormalement rapide des plantes pour arriver à leur sénescence	les plus connues et utilisées sont le 2,4-D, le dichloprope et le 2,4,5-T
Les inhibiteurs de la synthèse d'acides aminés	le glyphosate	-altèrent la synthèse d'acides aminés aromatiques (un herbicide de contact) employé en post-levée sur les plantes annuelles, bisannuelles ou vivaces, les graminées...	
Les destructeurs de la membrane cellulaire	les deux principales familles sont les bypyridilium les diphényl esters	-altèrent la membrane cellulaire, pénètrent dans le cytoplasme, sont métabolisés en peroxydes et en espèces radicalaires réactives responsables de stress oxydant.	agissent on retrouve le paraquat, le diquat ou le fomesafen.
Les inhibiteurs de la photosynthèse	de la famille - des triazines -des phénylurées :	- agissent en interférant avec la photosynthèse -les triazines bloquent la réaction de Hill et empêchent le transport des électrons, -les phénylurées bloquent les réactions de photophosphorylation	
3.2.2 Les herbicides appliqués au niveau du sol			
Les inhibiteurs de la division cellulaire ...	la famille des dinitroanilines (dinitrobenzenamines : la trifluraline, la prodiamine ou la pendiméthaline	- agissent en inhibant les étapes de division cellulaire responsables de la séparation des chromosomes - de la formation de la paroi cellulaire au niveau des racines de la plante.	
	-la famille des thiocarbamates : butylate, cycloate, EPTC... - la famille des amides substituées : alachlore, métolachlore	-agissent en interférant avec la division cellulaire des tissus méristématiques, - agissent donc sur les plantules après absorption racinaire et empêchent l'évolution vers la plante adulte.	
Les destructeurs de pigments	Le clomazone ou la norflurazon	agissent sur les plantes en détruisant la chlorophylle, ce qui empêche ensuite la plante de pouvoir réaliser correctement la photosynthèse	

2.3 Les fongicides

Un fongicide est un [produit phytosanitaire](#) conçu exclusivement pour tuer ou limiter le développement des [champignons parasites](#) des [végétaux](#). Les produits à usages médicaux sont dénommés des [antimycosiques](#).

On distingue :

- les produits préventifs empêchant le développement des spores à la surface de la plante.
- les produits curatifs qui stoppent le développement du champignon déjà installé dans la plante.

Actuellement, les fongicides employés proviennent de l'association d'une trentaine de matières actives regroupés en plusieurs familles chimiques .

Très fréquemment employés contre les maladies cryptogamiques, les fongicides assurent une excellente protection contre le développement des champignons parasites et permettent l'obtention de plantes saines. On distingue deux grands groupes de fongicides : les fongicides minéraux et les fongicides organiques qui sont majoritairement des produits de synthèse.

3.3.1 Les fongicides minéraux

Parmi les fongicides minéraux on trouve :

Types	Caractéristiques
<u>à base de cuivre</u>	Le plus connu est la bouillie bordelaise, mélange de sulfate de cuivre, de chaux et d'eau. Il existe également des préparations à base d'oxychlorure de cuivre. - Ils agissent sur un très grand nombre de champignons qui sont responsables des tavelures, des mildious, chancres, et/ou pourriture grise.
<u>à base de soufre</u>	Les vapeurs de soufre pénètrent dans les cellules et entrent en compétition avec l'oxygène dans les chaînes respiratoires. La toxicité ce fongicide est presque nulle vis à vis de l'homme et des animaux. Il existe 3 types de fongicides soufrés : <ul style="list-style-type: none">- les sulfures triturés utilisés sous forme de poudre,- les sulfures sublimés obtenus par condensation des vapeurs et employés en poudrage- les sulfures mouillables utilisés en pulvérisations qui contiennent 80% de soufre à l'état pur et qui sont rendus miscibles à l'eau par l'adjonction de d'agents mouillants.
<u>à base de permanganate de potassium</u>	Ils agissent uniquement à titre curatif sur les oïdiums qu'ils détruisent par contact.

2.1.2 Les fongicides organiques

Les fongicides organiques sont arrivés sur le marché vers 1950, et se sont rapidement développés. Très efficaces, ils possèdent un large spectre d'action. Les fongicides organiques représentent un groupe important de molécules dont la structure chimique est variée.

Parmi les principaux il y a :

Classe Les carbamates

les dérivés de l'acide carbamique et benzimidazolés	du groupe des benzimidazolés : le bénomyl, le thiophanate-méthyl et le carbendazime	- une action inhibitrice sur la biosynthèse des microtubules et plus précisément sur la polymérisation de la tubulin. - ils inhibent la mitose du champignon
les dérivés de l'acide thiocarbamique et dithiocarbamique	Famille l'acide thiocarbamique le mancozèbe, le manèbe, le propinèbe, le zinèbe et le zirame.	très importante du point de vue phytosanitaire. Ces fongicides ont en commun leur absence totale de phytotoxicité, une polyvalence assez grande et une faible écotoxicité
	Les dithiocarbamates : le thirame	une action inhibitrice sur la respiration des champignons. Ils agiraient également par le biais d'espèces réactives de l'oxygène à l'origine d'un stress oxydant

Classe Les dérivés du phénol

Ce groupe chimique, proche des dérivés du benzène est assez restreint. Son principal représentant est le dinocap qui agit sur la respiration. Le dinocap est phytotoxique si la température est supérieure à 35°C.

Classe Les dicarboximides

	Principaux produits	<u>Mode action</u>
les phtalimides	captane et le folpel Le folpel est un fongicide de contact multi-site homologué sur la vigne contre le mildiou, l'excoriose et le rougeot parasitaire.	une action sur la respiration du champignon
→ les imides cycliques	les plus utilisés : L'iprodione, le procymidone et la vinchlozoline.	causent des désordres dans les cellules du champignon spécialement quand celui-ci croît et se multiplie

Classe Les amides et amines

Groupes	Caracteristiques	Exemples
les anilides	- une action sur les Basidiomycètes - inhibent la respiration du champignon par inhibition de la succinate déhydrogénase	Le carboxine et le flutolanil : utilisés pour le traitement des plants et des semences le mépronil : traitement du sol et des parties aériennes de la laitue ou de la scarole.
les phénylamides	tient une position importante dans le contrôle des attaques dues aux Oomycètes, pour lesquels de nombreux autres groupes sont peu efficaces	Bénalaxyl et le métalaxyl : dans le traitement des parties aériennes de la tomate et de l'oignon contre le mildiou

Classe Les inhibiteurs de la biosynthèse des stérols

Cette classe de fongicides agit sur les cellules du champignon en inhibant la synthèse des stérols. Ils ont un effet sur les attaques dues aux ascomycètes, aux basidiomycètes et aux champignons imparfaits mais ils n'ont pas d'activité sur les Oomycètes . Ils peuvent être utilisés lors de phénomènes de résistances aux benzimidazolés.

Classe Les anilinopyrimidines

Ce groupe comprend le cyprodinil et le pyriméthanil utilisé contre le développement de la pourriture grise au niveau des parties aériennes du fraisier.

Leur mécanisme d'action est encore mal connu. Milling et Richardson (1995), rapportent que le pyriméthanil inhibe la sécrétion d'enzymes hydrolysantes et Masner et al. (1994) qu'il est possible qu'ils inhibent la biosynthèse de la méthionine.

Classe Les méthoxyacrylate et fongicides apparentés

Ces produits ont été développés à partir de substances naturelles secrétées par des champignons de forêts. Le mode d'action de ces anti-fongiques est l'inhibition de la chaîne respiratoire du cytochrome b/c1 (Galet, 1999). Ce groupe est composé de l'azoxystrobine, du krésoxim-méthyl, de la picoxystrobine et de la trifloxystrobine.

3. Principales substances actives utilisées sur les fruits et légumes

SUBSTANCES ACTIVES	EXEMPLES DE PARASITES
ABRICOT	
cuivre ; cyproconazole ; cyprodinil+fludioxonyl ; deltaméthrine ; fenbuconazole ; iprodione ; lambda cyhalothrine ; tébuconazole	acariens ; bactériose ; bombyx ; bryobes ; chenille arpenteuse ; cicadelles ; cochenilles ; coryneum ; cossus ; drosophiles ; forficules ; lyda ; moniliose ; noctuelles ; oïdium ; orgyes ; periteles ; petites mineuses ; phyllobes ; pou de san-jose ; pucerons ; punaises ; rhynchite ; rouille ; scolytes ; tavelure ; tordeuses ; xylebores
AIL	
aclonifen ; azoxystrobine ; butraline ; carbofuran ; chlorothalonil ; deltaméthrine ; fluazifop p-butyl ; hydrazide maléique ; ioxynil ; iprodione ; mancozèbe ; manèbe ; procymidone ; tébuconazole ; thiophanate méthyl ; thirame	botrytis (b.allii) ; mildiou ; mouche de l'oignon ; pourriture blanche ; rouille ; teignes; thrips
AMANDE	
carbendazime ; cuivre ; deltaméthrine ; dithianon ; lambda cyhalothrine ; phosalone ; thiophanate méthyl	acariens ; anthonome ; bactériose ; carpocapse ; cheimatobie ; chenilles ; cloque ; eurytoma amygdali ; lyda ; maladie criblée ; mineuses ; moniliose ; petites mineuses ; pucerons ; pyrale ; rouille ; tavelure ; tordeuses
ARTICHAUT	
cuivre ; cymoxanil ; fluazifop p-butyl ; fosetyl aluminium ; lambda cyhalothrine ; mancozèbe ; mercaptodiméthur ; méthomyl ; myclobutanil ; propyzamide ; pyrimicarbe ; roténone ; soufre	altises ; apion ; ascochytose ; graisse ; mildiou ; noctuelles ; oïdium ; pucerons ; ramulariose ; tordeuses ;

4- Caractéristiques physico-chimiques des pesticides

Les propriétés physico-chimiques dictent le comportement de la matière active dans le milieu. L'une des principales caractéristiques qui influencent les risques de contamination et d'impact des pesticides sur le milieu est la persistance plus ou moins longue dans un environnement donné.

Le fait qu'un pesticide ne soit pas efficace et qu'il ne soit pas détecté dans la végétation ou dans l'animal ne signifie pas qu'il soit totalement dégradé ni qu'il ne soit pas offensif pour l'environnement.

Par ailleurs, on peut évaluer la dégradation d'un pesticide par deux paramètres : la demi-vie (DT50) et le taux de dégradation (Devez, 2004).

Certains paramètres permettent de classer les pesticides selon le risque potentiel de pollution des eaux souterraines :

La Solubilité dans l'eau :

Elle constitue sa concentration à l'équilibre dans une solution saturée à une température donnée. Cette propriété est utile pour déterminer le partage, la mobilité et le devenir du pesticide dans l'environnement. En général, les pesticides sont très peu solubles dans l'eau. La l'eau) ; dans ce cas une fois solubilisé, le pesticide peut être lessivé et atteindre un aquifère

La tension de vapeur :

La tension d'une substance est la pression de vapeur saturante à l'équilibre thermodynamique de ses deux phases (liquide et solide). C'est un paramètre qui explique la probabilité d'un produit de se dissiper dans l'atmosphère. Les pesticides volatiles (tension de vapeur élevée) peuvent facilement se répandre dans l'environnement et devenir une préoccupation sérieuse

Indicateur de pollution : coefficient de solubilité (SW > 30 mg/l).

Un autre paramètre (le Kow : coefficient de partage dans l'Octanol et l'eau) d'un pesticide reflète la probabilité de transfert du pesticide d'un milieu environnemental aux organismes ainsi que le potentiel d'accumulation

Mobilité d'un pesticide

C'est la capacité que possède un pesticide d'usage terrestre de se répandre dans les sols et la capacité de ce pesticide de contaminer l'environnement aquatique en s'écoulant dans les eaux souterraines, en se délaçant par ruissellement ou grâce à l'érosion ou par lessivage.

Indice de GUS (potentiel de lixiviation)

Si GUS > 2,8 le pesticide est présent dans les eaux souterraines ;

si GUS < 1,8 il est absent (Barriuso, 2003). Les propriétés d'adsorption et de désorption des pesticides utilisés en milieu humide sont des facteurs déterminants pour la mobilité (Calvel, 2003.).

L'hydrolyse

Dans l'eau ou les milieux humides, le pesticide peut se transformer en un autre produit (métabolite)

La photo-dégradation

La photo-dégradation est due à l'exposition d'un produit chimique à la lumière. Cette exposition induit l'absorption des rayons UV et permet la dégradation de ce produit en donnant d'autres produits (les métabolites).

La biodégradation

La biodégradation détermine la dégradation des pesticides dans les sols, dans les eaux par les micro-organismes. La dégradation des contaminants est évaluée par deux paramètres : Demivie (DT50) et le taux de dégradation (Devez, 2004).

5- Les modes de pénétration des pesticides :

Les pesticides peuvent être absorbés par les voies orales cutanées, et respiratoires, les cas d'intoxication les plus graves se produisent lorsque le produit est ingéré accidentellement, les enfants sont les plus souvent victimes de ce type d'intoxication car ils ont tendance à porter les objets et leurs doigts à la bouche.

Mais les adultes qui fument et qui mangent sans s'être lavés les mains, après avoir manipulé les pesticides, peuvent être également affecté, chez les utilisateurs des pesticides, la voie cutanée constitue généralement la principale voie d'entrée des pesticides dans l'organisme.

On peut être exposés aux pesticides :

∅ Par la consommation d'eau ou d'aliments contenant des résidus de pesticides.

∅ Par l'inhalation d'un air contaminé, en particulier à proximité (voire à distance, si la circulation atmosphérique pousse le nuage) d'un épandage aérien où l'exposition peut être très importante.

∅ En manipulant des pesticides pour le traitement des végétaux, au jardin ou à la maison.

∅ Les foetus et les nouveau-nés peuvent être exposés à la plupart des pesticides à travers le placenta ou par le biais du lait maternel [20].

Les produits phytosanitaires et en général tous les produits chimiques sont susceptibles de pénétrer dans l'organisme par différentes voies:

La voie respiratoire : Ce type de pénétration se fait par inhalation de poussières, fumées, gaz ou vapeurs.

Ce risque est réel et fortement présent lors des différentes phases de traitement. Les poumons ont une grande capacité de contact, de rétention et d'absorption des produits toxiques.

De plus, les voies respiratoires sont constituées de telle sorte qu'elles facilitent une diffusion très rapide de ces substances dans le sang.

C'est pourquoi l'inhalation de produits toxiques produit une action très rapide

La voie digestive : La pénétration par cette voie se fait :

Soit par ingestion accidentelle d'un produit

Soit par déglutition de produit

>> Soit par contact direct, en portant des mains ou des objets souillés à la bouche

La voie cutanée C'est la voie principale de pénétration des produits.

Certains produits peuvent être susceptibles de traverser la peau, puis de passer dans le sang pour se fixer sur certains organes (foie, rate...) ou tissus (nerveux, gras) et aboutir, par conséquent, à des intoxications parfois très graves. D'autres produits peuvent causer des lésions sur la peau à l'endroit du contact (rougeurs, irritations, brûlures...).

Tableau 2. Les principales voies d'exposition aux pesticides [1,2].

Mode d'exposition (importance relative, + à +++)	Voie digestive	Consommateurs exposés par le biais des résidus présents dans l'alimentation (fruits et légumes) ++
	Voie pulmonaire	Pénétration dans les poumons par les poussières émises par les formulations solides, par les gouttelettes, brouillards et vapeurs émis lors des aspersions. Voie la plus redoutable car les produits sont acheminés rapidement au sang par l'intermédiaire de l'air pulmonaire. +++
	Voie cutanée	Pénétration des produits à travers la peau accélérée par les formulations huileuses ou additionnées de solvants. Les plaies sont autant de passages facilités. + (+++ applicateur)

Parmi les modes de pénétration,

- la pénétration respiratoire est la plus redoutable en raison de la proximité du courant sanguin, du débit sanguin très élevé, de la minceur de l'épithélium pulmonaire et de la grande surface d'échanges.
- Le mode de pénétration cutané est également très important bien que la peau soit classiquement considérée comme une barrière protectrice en raison notamment de la présence de la couche cornée, plusieurs facteurs entrent en jeu : affinité de la substance pour la peau, liposolubilité du produit, état sanitaire de la peau (blessure, eczéma, surface exposée, etc...). Il convient de rattacher à ce mode de pénétration, la pénétration à travers les muqueuses, facilitée par l'absence de couche cornée et par une vascularisation plus dense (œil, nez, bouche).
- Le mode de pénétration par voie orale est à la fois exceptionnel dans le contexte des produits phytosanitaires (accidents, suicide) mais aussi très banal (manque d'hygiène : mains non lavées/alimentation sur le lieu de travail) voire courant (consommateur) ;

l'absorption digestive peut s'effectuer à tous les niveaux du tube digestif (bouche, œsophage, estomac) mais surtout au niveau de l'intestin qui constitue un lieu d'absorption privilégié (grande surface d'échange, gradient de concentration favorable à l'absorption) mais la présence d'aliments dans le tube digestif, d'acide chlorhydrique et d'enzymes peut aussi moduler le processus