
Généralités sur les pesticides

1.1. Historique

L'introduction des pesticides dans les cultures remonte à l'Antiquité. L'usage du soufre paraît remonter à 1000 ans avant J.C., l'arsenic était déjà recommandé par Pline et les produits arsenicaux sont connus en Chine au 16^{ième} siècle ; c'est vers la fin de celui-ci que sont signalées les propriétés insecticides du tabac et des racines de Derris et de Lonchocarpus. L'utilisation plus généralisée des pesticides a suivi les progrès de la chimie minérale. Au 19^{ième} siècle, les traitements fongicides sont à base de sulfate de cuivre (dont la célèbre bouillie bordelaise) ou à base de mercure. Les insecticides tels l'arsénite de cuivre, l'acétoarsénite de cuivre, l'arséniate de plomb font leur apparition. Le pyrèthre, une poudre provenant de fleurs du genre chrysanthemus est introduit comme insecticide à cette époque. Ensuite, les pesticides profitent très largement du développement de la chimie organique particulièrement après la guerre 39-45 avec la naissance d'un nombre élevé de molécules. Les recherches militaires avaient déjà perfectionné des gaz de combat qui, à défaut d'être utilisés pendant les hostilités, le furent contre les insectes. Dans les années 50, des insecticides comme le DDD et le DDT sont utilisés en grandes quantités en médecine préventive (pour détruire le moustique responsable de la malaria) et en agriculture (élimination du doryphore). D'autres biocides sont mis au point pour l'industrie textile et du bois, pour l'usage domestique (aérosols tue-mouches), pour l'entretien des routes et pour une utilisation en médecine. L'usage de ces produits a connu un très fort développement au cours des décennies passées, les rendant quasiment indispensables à la plupart des pratiques agricoles, quel que soit le niveau de développement économique des pays. De 1945 à 1985, la consommation de pesticides a doublé tous les dix ans (Servais, 2000).

1.2. Définition

Les pesticides, étymologiquement “tueurs de fléaux”, sont des produits obtenus le plus souvent par synthèse chimique, dont les propriétés toxiques permettent de lutter contre les organismes nuisibles. D'un point de vue réglementaire, les pesticides font l'objet de plusieurs appellations. On distingue les pesticides utilisés principalement pour la protection des végétaux que l'on appelle produits phytopharmaceutiques (CEE, 1991) ou plus communément produits phytosanitaires et d'autres que l'on appelle biocides. Par exemple, un

insecticide sera un produit phytosanitaire s'il est utilisé sur du blé mais un biocide dès lors qu'il est utilisé sur du bois de charpentes (IFEN, 2002).

Plusieurs définitions sont données aux pesticides parmi lesquelles on peut en citer :

- Celle de Moullet et Luquet (1981) «est pesticide toute substance ou préparation utilisée pour lutter contre les êtres vivants nuisibles directement ou indirectement à l'homme et à tout ce qui utile à son existence»

- On appelle pesticide, toute substance naturelle ou synthétique utilisée pour prévenir, détruire, repousser ou inhiber les pestes, ou utilisé comme régulateur de plant, défoliant ou dessiccatif (Middlekanf, 1986).

- Selon le CILSS et le comité mixte de la FAO/OMS, un pesticide désigne toute substance ou association de substances qui est destinée à :

- Repousser, maîtriser ou contrôler les organismes nuisibles y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales et les espèces indésirables de plantes ou d'animaux causant des dommages ou se montrant autrement nuisibles durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées alimentaires, des produits agricoles, du bois et des produits ligneux, ou des aliments pour animaux ;

- Être administrée aux animaux pour combattre les insectes, les arachnides et les autres ectoparasites ;

- Être utilisée comme régulateur de croissance des plantes, défoliants, agents de dessiccation, agents d'éclaircissage des fruits ou pour empêcher leur chute prématurée.

- Selon l'AFNOR : un pesticide est une substance ou une préparation permettant de lutter contre les ennemis des cultures.

Globalement, toutes ces définitions se recoupent et retiennent que, les pesticides sont des substances chimiques, biologiques destinées à limiter ou à détruire un organisme que l'on considère comme nuisible.

1.3. Composition d'un pesticide

Un pesticide est presque toujours un mélange de deux types de constituants :

- Une ou plusieurs substances traitantes (matière active) qui confèrent son activité (effet de poison désiré) au produit.
- Les formulants qui sont des substances d'appoint destinés à accroître l'efficacité de la matière active.

Les formulants sont soit des charges ou des solvants qui n'ont qu'un rôle de dilution des matières actives, soit des produits qui améliorent la préparation pour sa qualité. Ils sont en général constitués d'une substance qui sert de support à la matière active et les adjuvants qui complètent la formulation.

Les substances d'appoint les plus connues sont :

- les solvants qui servent à dissoudre la substance active
- les émulsifiants pour la dilution des liquides concentrés
- Les substances coulantes permettant l'humectation d'une plus grande surface de feuilles
- Les substances portantes pour mieux diluer la substance active d'une formule sèche
- Les dispersantes qui permettent à la poudre de se répartir en fines particules dans l'eau
- Les agglutinants facilitent le maintien du pesticide à la surface des feuilles
- Les colorants et les synergistes

1.3.1. La matière active (m.a)

C'est le constituant auquel est attribué en totalité ou en partie l'activité biologique directe ou indirecte contre le parasite ou la maladie (FAO/OMS, 2002). La teneur en m.a est exprimée en masse par volume (m.a en g/L) ou en pourcentage (%) pour les formulations liquides et en masse par masse (m.a en g/Kg) pour les formulations sèches.

1.3.2. La formulation

La formulation correspond à la forme physique sous laquelle le produit phytopharmaceutique est conditionné et mis sur le marché (CILSS, 2000). Elle constitue un produit prêt à l'emploi contenant un ou plusieurs matières actives et généralement d'autres substances d'appoint. Elle se présente sous plusieurs formes solide ou liquide. Les formules les plus répandues sont :

- Les formulations sèches ou solides sous forme de poudre pour poudrage (code : DP), de granules (G ou GR), de poudres mouillables ou solubles dans l'eau (WG, SP).
- Les formules mouillées ou liquides sous forme de solutions concentrées solubles (SL), les concentrés émulsionnables (EC), les suspensions concentrées (SC).

Le type de formulation a une grande importance dans la manipulation des produits : fabrication, transport, stockage, préparation des bouillies. Par exemple, les suspensions concentrées auront tendance à sédimenter au cours du temps et il sera indispensable de les agiter avant l'emploi (Coulibaly, 2005).

1.4. Classification

Les pesticides constituent un ensemble très vaste et très hétérogène de composés. Ils sont classés selon plusieurs critères notamment, la qualité, la persistance, la toxicité. On distingue ainsi plusieurs types de classifications dont les plus courantes sont faites selon l'ennemi ciblée, la nature chimique, la formulation et la toxicité.

1.4.1. Classification selon l'ennemi ciblé

Les pesticides sont classés en général en différents groupes selon la nature des êtres vivants nuisibles. On distingue ainsi :

- Insecticides : Acaricides inclus (produits de lutte contre les insectes)
- Herbicides (produits de lutte contre les mauvaises herbes)
- Fongicides (maladies fongiques)
- Molluscicides et Nématocides (respectivement contre les escargots, les limaces et les nématodes), Algicides (contre les algues), Bactéricides (contre les bactéries : antibiotiques), Rodenticides et taupicides (rats et les souris), Avicides (contre les oiseaux), Piscicides (contre les poissons) et enfin les Miticides (contre les mites).

1.4.1.1. Les insecticides

C'est un groupe très vaste et hétérogène tant sur la nature chimique que sur les cibles en particulier avec l'avènement des molécules organiques de synthèses. Les insecticides sont des agents chimiques ou biologiques capables de contrôler les insectes. Le contrôle peut consister à tuer, empêcher ou perturber l'insecte à s'engager dans les comportements considérés comme destructeurs. Le mode d'action des insecticides peut être fondé sur la perturbation du système nerveux, la respiration cellulaire, la mise en place de la cuticule ou la perturbation de la mue. Ce groupe renferme les familles chimiques suivantes:

- Organochlorés

- Organophosphorés
- Carbamates
- Foramides
- Pyréthriinoïdes

Des quantités énormes d'insecticides sont utilisées dans la lutte contre les criquets migrateurs notamment dans le Sahel (Ramade, 1991).

1.4.1.2. Les herbicides

Encore appelés dés herbants, notamment en horticulture, les herbicides sont des matières actives ou des produits formulés ayant la propriété de tuer les végétaux. Les herbicides sont soit sélectifs soit totaux. Les herbicides sélectifs sont utilisés en agriculture pour lutter contre un type de végétation particulier (mauvaises herbes) pendant que les cultures sont restées intactes. Tandis que les totaux sont susceptibles de détruire ou d'empêcher le développement de toute la végétation avec des persistances d'actions, variables. Les herbicides se distinguent par leur voie de pénétration dans les végétaux et leur mode de déplacement dans la plante (herbicides à pénétration racinaire, foliaire et herbicides de contact). Les herbicides agissent sur différents processus de la croissance et du développement des plantes. Ils perturbent le fonctionnement de la photosynthèse ou la perméabilité membranaire, la croissance et la biosynthèse des constituants cellulaires : lipides, pigments caroténoïdes, acides aminés (Coulibaly, 2005).

Dans ce groupe en rencontre :

- Les dinitrophénols ou huiles jaunes : DNOC (dinitro-ortho-crésol)
- Les Aryloxyacides ou phytohormones comme le 2,4-D (dinitrophénol)
- Les Triazines : Atrazine, simazine, aminotriazole
- Les Aminophosphonates : Glyphosate, glufosinate.

1.4.1.3. Les fongicides

Ils désignent les produits qui s'attaquent aux champignons parasites des cultures à l'exclusion des parasites animaux et de l'homme. Il faut distinguer les substances fongicides qui tuent les champignons, de celles fongistatiques qui arrêtent la croissance des champignons (Ngom, 1992). Le mode d'action des fongicides est exprimé par une inhibition de la germination de la spore ou par une inhibition de la croissance du champignon. La plupart des fongicides empêchent la germination de la spore ou tuent la spore juste après la

germination. Certains de ces produits chimiques toxiques ou inhibiteurs empêchent ou retardent également la croissance fongique lorsqu'ils sont appliqués après la phase infectieuse (Ware et Whitacre, 2004). Les molécules les plus répandues dans ce groupe sont : benomyl, maneb, captfol, dithane, Thiazole.

1.4.1.4. Les nématicides

Ils sont surtout utilisés dans le traitement des sols pour détruire les vers parasites des parties souterraines des végétaux ou celles qui sont au contact du sol (Ngom, 1992). Les nématicides appartiennent à des classes chimiques des organophosphorés et carbamate. Ils sont en général répartis en deux groupes principaux en fonction de leurs caractéristiques physiques et chimiques : les nématicides fumigènes et les nématicides non-fumigènes ou de contact.

- Les nématicides fumigènes : ce groupe concerne en général les fumigènes du sol. Leur caractéristique principale résulte du fait qu'ils sont localement redistribués dans le sol par diffusion comme un gaz. Ce sont des produits chimiques qui, une fois appliqués au sol, produisent des vapeurs qui se diffusent dans le sol pour traiter de manière uniforme un volume considérable de sol. Dans ce groupe, on rencontre des produits tels que : le méthyl bromure, le dazomet (DMTT) qui sont des fumigènes universels (à large spectre d'action) c'est-à-dire efficaces contre une panoplie de cibles (nématodes, champignons, bactéries, insectes, et des mauvaises herbes) ; 1,3-dichloropropène, métam sodium qui sont spécifiques aux nématodes.

- Les nématicides non-fumigènes ou de contact : ils ont été développés dans les années soixante. La plupart de ces molécules sont extrêmement toxiques aux humains (toxicités orales et cutanées aiguës). Contrairement aux fumigènes, ces produits chimiques dépendent fortement du mélange initial avec le sol et de la redistribution locale en solution dans l'eau du sol. Ils sont généralement formulés, en granules à l'intérieur desquelles la substance active a été fixée sur une particule de sable, d'argile, ou d'une granulation organique ; le tout occupant 5% à 20% du poids du produit formulé (Dunn et Noling, 2003). On peut citer des principes actifs comme l'alicarbe et le carbofurane.

1.4.2. Classification selon la famille chimique

La classification selon la nature chimique rend compte d'une grande diversité de familles. Rien que pour les insecticides, qui constituent le groupe qui présente le plus de risques pour l'homme et son environnement, on compte aujourd'hui des centaines de molécules notamment avec l'avènement de nouvelles molécules (pesticides organiques de synthèses) sur le marché. Les plus grandes familles sont : les organochlorés, les organophosphorés, les pyréthrinoïdes.

1.4.2.1. Les organochlorés

Les organochlorés sont des insecticides qui contiennent des atomes de carbone, d'hydrogène, et de chlore. Ils sont également appelés : hydrocarbures chlorés, produits organiques chlorés, insecticides chlorés et synthétiques chlorés (Ware et Whitacre, 2004). Ce sont des composés apolaires (non-ioniques) donc très peu solubles, dans les eaux, fortement solubles dans les lipides et les substances organiques. Les pesticides organochlorés sont chimiquement très stables dans l'air, la lumière et la chaleur, de sorte qu'ils persistent de nombreuses années dans les eaux, les sols, les végétaux mais également au niveau des tissus humains. En effet, l'accumulation des organochlorés chez les animaux et chez l'Homme est notamment importante dans le tissu graisseux mais aussi dans le foie et dans les muscles (Coly, 2000 ; Cissé, 2000). Ils sont caractérisés par leur toxicité, leur persistance dans les milieux, leur tendance à la bioaccumulation dans les chaînes alimentaires (PAN-CTA, 1990), leur capacité à se déplacer jusqu'à des milliers de kilomètres de leur point origine (Ramade, 1991 ; Greenpeace, 1995). Ce qui fait que de nombreux représentants de cette catégorie font l'objet d'une réglementation ou d'une interdiction formelle dans plusieurs pays du monde. Aujourd'hui une campagne accrue est menée un peu partout sous l'égide d'organismes internationaux (FAO, PNUE, OMS, PAN) pour l'élimination de toute forme d'utilisation de ces produits également appelés polluants organiques persistants (POPs). Selon la structure des molécules, on distingue quatre groupes : chlorobenzène ou diphényles aliphatiques, l'Hexachlorohexane (HCH), le chlordane ou cyclodiènes et le groupe des polychloroterpènes.

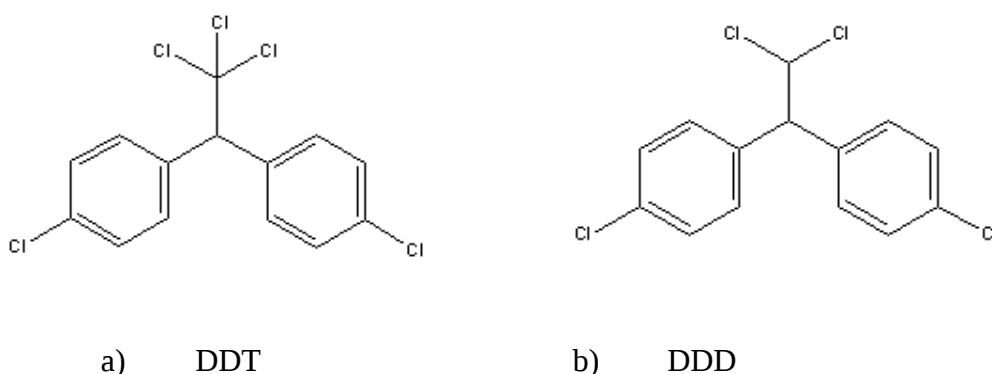


Figure 1 : Structure chimique des organochlorés : le DDT (a) et le DDD (b)

1.4.2.2. Les organophosphorés

Les organophosphorés sont des composés chimiquement similaires, caractérisés par la présence d'un atome de phosphore. Ces dérivés de l'acide phosphorique constituent la classe des insecticides la plus toxique pour les vertébrés. Ils sont très peu persistants dans l'environnement et se dégradent rapidement sous climat tropical (Coly, 2000). Ce qui justifie leur préférence en agriculture par rapport aux organochlorés. On dénombre six groupes facilement identifiables par leurs noms chimiques : phosphates, phosphanates, phosphorothioates, phosphorodithioates, phosphorothiolates et phosphoramidates. Les organophosphorés sont en générale subdivisés en trois groupes suivant leur structure : les aliphatiques, les dérivés phénylés et les hétérocycles. Les organophosphorés sont généralement volatils et solubles dans les hydrocarbures non aliphatiques. Ces composés sont caractérisés par des propriétés chimiques très variées. Ils sont susceptibles d'induire des réactions d'isomérisation liées à la pentavalence du phosphore et de s'hydrolyser facilement en milieu alcalin notamment avec l'accroissement de la température. Les insecticides organophosphorés inhibent certaines enzymes (cholinestérases) du système nerveux chez les insectes et chez les mammifères. (Ngom, 1992 ; Savadogo, 2001).

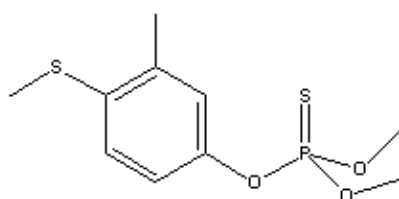


Figure 2 : Structure d'un pesticide organophosphoré : le Fenthion

1.4.2.3. Les Pyréthrinoïdes

Ce sont des insecticides de synthèse dérivés des pyréthrines. Ces derniers sont des composés naturels extraits à partir des fleurs du pyrèthre (chrysanthémus). Les pyréthrinoïdes sont stables à la lumière et sont en général efficaces à de faibles doses sur un large spectre d'insectes (Ware et Whitacre, 2004). Ils présentent des toxicités aiguës faibles chez l'homme, mais demeurent écologiquement dangereux particulièrement pour les abeilles et pour certains organismes aquatiques (Coly, 2000). Cette toxicité faible couplée à une faible solubilité de la matière active dans l'eau et à une métabolisation rapide chez les mammifères expliqueraient leur recommandation dans la lutte antiacridienne (Seck, 2001 ; Ramade, 1991). Suite à leur évolution, les pyréthrinoïdes sont subdivisés en quatre générations depuis l'allethrine aux derniers composés de la quatrième génération avec : le bifenthrine, la lambda-cyhalothrine, la cyperméthrine, la deltaméthrine (figure 3), l'esfenvalate,

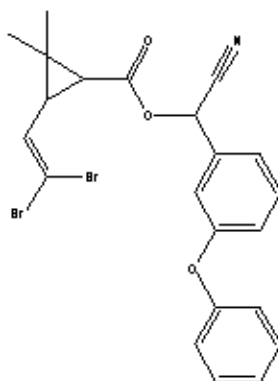


Figure 3 : Structure chimique d'un pyréthrinoïde : la Deltaméthrine

1.4.3. Classification selon le niveau de toxicité

La toxicité d'un pesticide est un élément fondamental dans l'évaluation des risques sanitaires et écologiques durant son emploi. La classification des pesticides selon la toxicité demeure complexe et les résultats scientifiques insuffisants (Cissé, 2000). L'OMS est parvenue à déterminer une grille de classification servant de référence au niveau mondial (tableau-I). Dans cette catégorie, on distingue les formes plus ou moins dangereuses de chaque pesticide qui résultent de la toxicité de la matière active et de ses formulations. La classification est principalement basée sur la toxicité aiguë orale et cutanée en particulier

chez le rat. La toxicité aiguë exprimée par la DL_{50}^1 (dose létale), constitue la procédure standard en toxicologie. La DL_{50} est la dose de substance active suffisante pour tuer 50% de la population d'un lot d'animaux d'expérience. Cette valeur est exprimée en milligramme de matière active par kilogramme du poids corporel de l'animal : rat, souris ou lapin (OMS, 2005). Pour les espèces aquatiques, on parlera de concentration létale médiane (CL_{50}). Elle indique la concentration létale médiane du produit antiparasitaire formulé. Plus la valeur CL_{50} est faible, plus le produit est toxique.

Classes	<i>DL_{50} (dose létale) aiguë chez le rat (en mg/kg du poids vif)</i>			
	<i>Orale</i>		<i>Dermale</i>	
	<i>Solide</i>	<i>Liquide</i>	<i>Solide</i>	<i>Liquide</i>
<i>Ia : extrêmement toxique</i>	<i>5 ou moins</i>	<i>20 ou moins</i>	<i>10 ou moins</i>	<i>40 ou moins</i>
<i>Ib : hautement toxique</i>	<i>5 - 50</i>	<i>20 - 200</i>	<i>10-100</i>	<i>40 – 400</i>
<i>II : modérément toxique</i>	<i>50 – 500</i>	<i>200 - 2000</i>	<i>100-1000</i>	<i>400 – 4000</i>

Tableau I : guide de la classification selon leur niveau de toxicité

Source: the WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2004/2005.

Une substance est qualifiée de toxique lorsque après pénétration dans l'organisme, provoque de façon passagère ou permanente des dommages dans les fonctions et pouvant conduire même à la mort.

1.4.3.1. Cas des polluants organiques persistants (POPs)

En 1995, plus de cent pays se réunissant à Washington sous l'égide du PNUE ont accepté d'adopter légalement un instrument commun obligatoire pour interdire : la décharge, l'émission, la fabrication, l'utilisation et le commerce des 12 POPs encore connus sous le nom des « dirty dozen ou sales douzaines ». Ce traité été révisé en 1997 et finalement ratifié pour

¹ DL_{50} est une évaluation statistique du nombre exprimé en milligramme de m.a par kilogramme de poids du corps de l'animal, exigée pour tuer 50% d'une grande population des animaux d'essai (OMS, 2005).

la première fois et après trois ans de négociations² par 120 pays dans la ville baltique de Stockholm. La convention de Stockholm adoptée les 22 et 23 mai 2001 sur les POPs, reconnaît que les polluants organiques persistants possèdent des propriétés toxiques. Ils résistent à la dégradation, s'accumulent dans les organismes vivants et sont propagés par l'air, l'eau et les espèces migratrices par delà les frontières internationales et déposés loin de leur site d'origine, où ils s'accumulent dans les écosystèmes terrestres et aquatiques (Greenpeace, 2001 ; PNUE, 2001). Les POPs sont caractérisés par trois propriétés principales qui les rendent extrêmement dangereux : leur toxicité, leur persistance et leur bioaccumulation. Les POPs sont constitués de huit pesticides ; de produits chimiques industriels (PCB) et enfin de sous-produits industriels non désirés.

1.4.3.2. Cas des pesticides dits de consentement préalable en connaissances de cause (PIC)

Soutenue conjointement par la FAO et le PNUE, la Convention de Rotterdam du 12 septembre 1998 sur la procédure d'information et de consentement préalable en connaissance de cause (PIC) applicable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet du commerce international ; a pris effet le 24 février 2004.

Elle démarre avec 27 produits chimiques soumis à la procédure PIC, mais quinze autres pesticides et produits chimiques, identifiés durant la procédure PIC, vont s'y ajouter. Cela inclut plusieurs pesticides très toxiques, notamment le monocrotophos et le parathion ainsi que cinq formes supplémentaires d'amiante dont la chrysolite qui représente 90% d'amiante actuellement utilisé ou commercialisé ; soit un taux total de quarante-deux produits chimiques (PAN-Africa, 2004). Les produits PIC sont constitués de 27 pesticides dont les 22 sont des pesticides dangereux ; de cinq autres soumis à la procédure PIC provisoire et cinq produits chimiques industriels.

1.5. L'utilisation des pesticides dans l'agriculture au Sénégal

Le marché des pesticides au Sénégal oscille normalement autour d'une valeur de 10,5 milliards de francs CFA. Les quantités distribuées sont de l'ordre de 900 000 litres à plus de 1 350 000 litres pour les produits de pulvérisation à ultra-bas volume, 250 000 à 400 000 litres pour les concentrés émulsionnables et 4 000 à 5 000 tonnes pour les poudres pour

² En décembre 2000, sous la pression internationale les pays qui avaient boudés les négociations : les ETATS-UNIS, l'Australie, le Canada, le Japon et la Nouvelle-Zélande, ont finalement accepté de ratifier le projet de texte du premier traité global pour élimination des POPs.

poudrage des cultures, traitement des denrées stockées et l'hygiène publique. Ces quantités peuvent s'accroître de façon exceptionnelle en cas de fléaux : invasions acridiennes (PAN Africa, 2003)

Dans la zone périurbaine des Niayes, avec l'intensification et la modernisation de l'agriculture et devant l'impossibilité d'accroître les surfaces horticoles, un véritable dopage des cultures semble s'opérer. L'utilisation d'intrants chimiques (pesticides et engrais chimique) pour accroître les rendements est une pratique très courante (Cissé et Fall, 2003 ; Diao, 2004). Les pesticides utilisés dans ce système de production horticole sont très diversifiés tant sur les familles chimiques, la formulation que sur les cibles visées. Les études de Cissé (2001) ont dénombré 123 produits appartenant à 67 principes actifs. Rien que pour les Niayes de Dakar, on a identifié 55 produits. Cela s'explique par une forte activité maraîchère et la concentration des points de distribution dans cette zone.

1.5.1. Répartition selon la formulation et la nature chimique

Plusieurs types de formulation composent les produits utilisés dans les Niayes de Dakar. Les concentrés émulsifiables (EC) représentent la formulation dominante. Suivent ensuite les poudres mouillables (WP), les poudres sèches (DP) et les granulés (GR). Dans la région de Dakar, les formulations utilisées se présentent comme suit : EC, 56,36% ; WP, 18,18 % ; DP, 10,9 % et GR, 5,4 %. La classification des familles chimiques (figure 8) montre une large dominance des produits organophosphorés avec une utilisation de 43,6 % dans la région de Dakar. Ils sont suivis des pyréthriinoïdes, des carbamates et des organochlorés avec des pourcentages respectifs de 18,1 %, 14,5 % et 10,9% (Cissé et Fall, 2003).

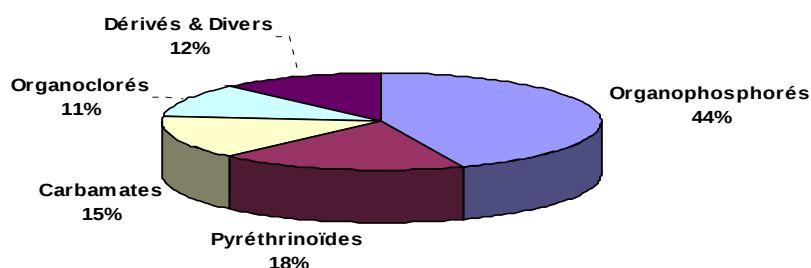


Figure 4 : Répartition des pesticides dans les Niayes en fonction des familles chimiques (Cissé et Fall, 2003)