

Classification des insecticides et des acaricides selon le mode d'action

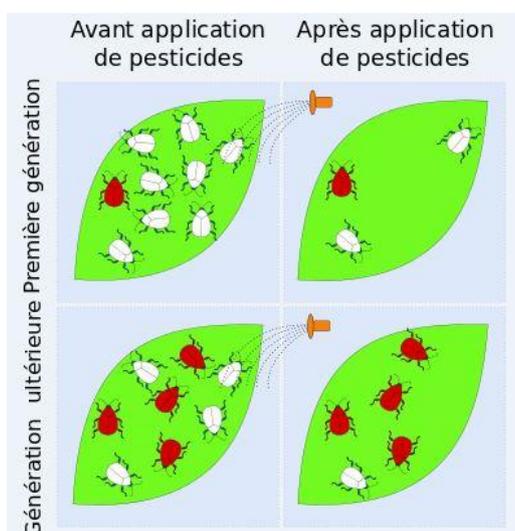
CSAN Niger ; csan.niger@gmail.com

Introduction

Depuis plusieurs décennies le besoin de contrôler efficacement les ennemis des cultures (ou bioagresseurs) dans les domaines de l'agriculture, l'élevage et médical a occasionné une utilisation excessive des produits chimiques. Ces produits appelés pesticides sont utilisés pour réduire les populations des nuisibles qui ravagent les cultures ou leur transmettent des maladies. Malheureusement, ces pesticides présentent des risques inhérents sur la santé de l'homme, des animaux et sur l'environnement. En plus de cela, ces produits ne sont pas toujours efficaces (surtout après plusieurs applications successives) car les nuisibles ont développé des mécanismes de défense leur permettant de contourner les effets des substances toxiques que nous appliquons contre eux. Ce phénomène s'appelle la résistance. La résistance aux pesticides intervient lorsque qu'une population de nuisibles réduit sa sensibilité ou cesse carrément de répondre suite à une application d'un produit censé la détruire.

Il existe plusieurs types de résistance et le développement de celles-ci au champ est influencé par plusieurs facteurs qui peuvent être biologiques, génétiques ou opérationnels. Il existe de nos jours plusieurs moyens de gérer la résistance. Il s'agit notamment de l'alternance, l'association ou la réduction de la fréquence d'application des matières actives de mode d'action différents mais complémentaires (cf. Tableau). Ce guide a pour objet d'expliquer les différents modes d'action des insecticides et acaricides selon la classification de l'*Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)*.

Selon la classification de l'*IRAC*, il existe dans la nature, au moins 30 modes d'action connus des insecticides et des acaricides. Ce document qui comporte les différents groupes de pesticides ainsi que leur mode d'action (Mda), s'inscrit dans une logique de gestion rationnelle de la résistance aux insecticides (*Insecticide Resistance Management ou IRM*). C'est un outil de prise de décision pour les professionnels dans le choix des pesticides en fonction des différents modes d'action.



Qu'est-ce que la Résistance ?

La résistance est la capacité naturelle qu'ont les individus d'une population de bioagresseurs (ravageur ou agents phytopathogène) d'opérer un changement génétique leur permettant de survivre suite à une application successive d'une substance toxique qui offrirait, dans les conditions équivalentes (et selon les recommandations du fournisseur), une bonne efficacité. La résistance augmente avec une utilisation excessive ou une mauvaise application des pesticides. Elle se traduit par une réduction de la sensibilité des populations de bioagresseurs vis-à-vis d'un pesticide. Ce phénomène a comme conséquences la sélection des formes résistantes au sein des populations suivie d'une évolution accrue des individus résistants aux pesticides.

En plus des insectes et des acariens, d'autres groupes d'organismes (bactérie, champignons, mauvaises herbes) sont également concernées par ce fléaux.

Les différents mécanismes de résistance

Il existe dans la nature plusieurs moyens permettant aux insectes et aux acariens de développer des résistances aux pesticides. Il s'agit de la résistance comportementale, la résistance physiologique, la résistance par pénétration et la résistance par altération du site cible.

On parle de **résistance physiologique ou métabolique**, lorsque l'insecte effectue des modifications physiologiques en accroissant le métabolisme de détoxification lui permettant soit de détoxifier rapidement la toxine ou de la séquestrer afin de l'empêcher d'atteindre sa cible. En effet, l'insecte utilise son système enzymatique pour métaboliser l'insecticide. Ce mécanisme plus complexe est responsable de la plupart des cas de résistance aux insecticides.

La **résistance par altération du site cible** : dans ce cas le site cible où l'insecticide agit au niveau de l'insecte est génétiquement modifié. Ces changements interviennent au niveau du site de liaison entre l'insecticide et la protéine cible.

Dans le cas de la **résistance comportementale**, les populations d'insectes peuvent détecter ou reconnaître un danger et de ce fait, éviter la toxine en développant la capacité de réduire ou de s'éloigner d'une exposition létale du pesticide. Ce mécanisme de résistance est courant dans plusieurs familles, notamment les organophosphorées et les carbamates. En effet, la stratégie utilisée par les insectes est d'une part d'arrêter de s'alimenter une fois qu'ils rencontrent un insecticide et d'autre part de quitter la zone qui a subi un traitement insecticide (en se retournant sur la partie de la feuille n'ayant pas été au contact avec le pesticide ou de s'envoler vers une zone non traitée).

La **résistance par pénétration** : elle se caractérise par la réduction de la pénétration cuticulaire des pesticides. Ce type de résistance a lieu lorsqu'il y a développement au niveau de la cuticule externe, des barrières permettant de diminuer la pénétration du toxique dans le corps de l'insecte.

Mode d'action et résistance croisée

On parle de mode d'action (MdA) lorsque qu'interviennent, au niveau cellulaire et suite à une exposition d'une substance toxique, des changements fonctionnels ou anatomiques au niveau d'un organisme vivant. En comparaison, le mécanisme d'action décrit ces changements à un niveau moléculaire. Le MdA est important dans la classification des substances chimiques, vu qu'il représente un niveau intermédiaire entre le mécanisme moléculaire et les effets physiologiques.

Une matière active est une molécule (d'origine naturelle ou synthétique) qui détruit ou repousse l'organisme cible (eg. insecte, acarien, champignon, bactérie ou mauvaise herbe). Malgré qu'elles appartiennent à des familles différentes, certaines matières actives possèdent le même MdA. De ce fait, elles agissent de la même façon sur la cible. En cas d'utilisation successive de d'insecticides ou d'acaricides appartenant au même groupe, les interactions entre la matière active utilisée et le site cible sont délabrées. Ainsi, les deux substances utilisées et par extension toutes les matières actives appartenant aux deux familles perdent leur activité et leur efficacité. Ceci a comme conséquence l'apparition de la résistance croisée qui peut ne pas être due à l'utilisation répétée d'une matière active. Par exemple, les insecticides appartenant aux organophosphorés et aux carbamates, malgré qu'ils soient de familles différentes, agissent tous sur les l'acétylcholinestérase.

En outre, des insecticides ou acaricides appartenant à des groupes différents peuvent être alternés ou associés : organophosphoré vs oxadiazine ou néonicotinoïde vs avermectine. Mais, la plus grande préoccupation intervient en cas de résistance multiple. On parle de résistance multiple, lorsqu'une population de bioagresseur devient résistante à des pesticides ayant des MdA différents. Pour cela, il est important de savoir au préalable, le groupe auquel appartient un insecticide ou un acaricide et quel est le produit qu'il faut éventuellement utiliser lorsque qu'il s'agit d'alterner, d'associer ou de réduire la fréquence l'application des pesticides au cours d'une campagne donnée.

Alternances, association et fréquence d'application des pesticides

Malgré plusieurs années de recherche sur les méthodes alternatives de contrôle des ennemis des cultures, les pesticides occupent encore une place de choix dans la lutte contre les nuisibles. Le but d'un bon programme de gestion de la résistance est d'une part prévenir ou retarder l'évolution de la résistance développée par les insectes et d'autre part, rendre de nouveau sensibles les populations d'insectes ayant développées une résistance. Une IRM efficace est donc un important élément pour maintenir l'efficacité d'un précieux insecticide. La classification selon le MdA de l'IRAC aide à mieux concevoir des stratégies efficaces et durables contre les nuisibles.

L'expérience a montré que toute les stratégies de gestion de la résistance chez les insectes ou les acariens vont dans le sens de minimiser la sélection des formes résistantes vis-à-vis du produit utilisé. En pratique l'alternance, l'association, ou la réduction de la fréquence d'utilisation de pesticides de MdA différents fournissent des résultats plus efficaces et durables.

Classification de l'IRAC selon le mode d'action des insecticides et des acaricides

Principaux groupe/site d'action cibles	Sous-groupe chimique ou exemplification de la MA	Exemples de matière active
1 Inhibiteurs d'acétylcholinestérase (AChE) Système nerveux	1A Carbamates	Alanycarb, Aldicarb, Bendiocarb, Benfuracarb, Butocarboxim, Butoxycarboxim, Carbaryl, Carbofuran, Carbosulfan, Ethiofencarb, Fenobucarb, Formetanate, Furathiocarb, Isoprocarb, Methiocarb, Methomyl, Metolcarb, Oxamyl, Pirimicarb, Propoxur, Thiodicarb, Thiofanox, Triazamate, Trimethacarb, XMC, Xylylcarb
	1B Organophosphorés	Acephate, Azamethiphos, Azinphos-ethyl, Azinphosmethyl, Cadusafos, Chlorethoxyfos, Chlorfenvinphos, Chlormephos, Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl, Coumaphos, Cyanophos, Demeton-S-methyl, Diazinon, Dichlorvos/ DDVP, Dicrotophos, Dimethoate, Dimethylvinphos, Disulfoton, EPN, Ethion, Ethoprophos, Famphur, Fenamiphos, Fenitrothion, Fenthion, Fosthiazate, Heptenophos, Imicyafos, Isofenphos, Isopropyl O-(methoxyaminothio-phosphoryl) salicylate, Isoxathion, Malathion, Mecarbam, Methamidophos, Methidathion, Mevinphos, Monocrotophos, Naled, Omethoate, Oxydemeton-methyl, Parathion, Parathion-methyl, Phenthoate, Phorate, Phosalone, Phosmet, Phosphamidon, Phoxim, Pirimiphos- methyl, Profenofos, Propetamphos, Prothiofos, Pyraclofos, Pyridaphenthion, Quinalphos, Sulfotep, Tebupirimfos, Temephos, Terbufos, Tetrachlorvinphos, Thiometon, Triazophos, Trichlorfon, Vamidothion

Principaux groupe/site d'action cibles	Sous-groupe chimique ou exemplification de la MA	Exemples de matière active
2 Bloqueur des canaux chlorures GABA-gated Système nerveux	2A Cyclodiène organochlorés	Chlordane, Endosulfan
	2B Phénylpyrazoles (Fiproles)	Ethiprole, Fipronil
3 Modulateurs des canaux sodiques Système nerveux	3A Pyréthriinoïdes, Pyréthrines	Acrinathrin, Allethrin, d-cis-trans Allethrin, d-trans Allethrin, Bifenthrin, Bioallethrin, Bioallethrin Scyclopentenyl isomer , Bioresmethrin, Cycloprothrin, Cyfluthrin, beta-Cyfluthrin, Cyhalothrin, lambdaCyhalothrin, gamma-Cyhalothrin, Cypermethrin, alpha-Cypermethrin, beta-Cypermethrin, thetacypmethrin, zeta-Cypermethrin, Cyphenothrin , (1R)-trans- isomers], Deltamethrin, Empenthrin (EZ)-(1R)-isomers], Esfenvalerate, Etofenprox, Fenpropathrin, Fenvalerate, Flucythrinate, Flumethrin, tau-Fluvalinate, Halfenprox, Imiprothrin, Kadethrin, Permethrin, Phenothrin [(1R)-trans- isomer], Prallethrin, Pyrethrins (pyrethrum), Resmethrin, Silafluofen, Tefluthrin, Tetramethrin, Tetramethrin [(1R)-isomers], Tralomethrin
	3B DDT, Methoxychlor	DDT, Methoxychlor
4 Modulateurs des compétiteurs des récepteurs nicotiques de l'acétylcholine (nAChR) Système nerveux	4A Néonicotinoïdes	Acetamiprid, Clothianidin, Dinotefuran, Imidacloprid, Nitenpyram, Thiacloprid, Thiamethoxam,
	4B Nicotine	Nicotine
	4C Sulfoximines	Sulfoxaflor
	4D Butenolides	Flupyradifurone
	4E Mesoionics	Triflumezopyrim
5 Modulateurs allostériques des récepteurs nicotiques de l'acétylcholine Système nerveux	Spinosynes	Spinotoram, Spinosad
6 Modulateurs allostériques des canaux chloriques glutamate-gated (GluCl) Système nerveux et muscle	Avermectines, Milbemycines	Abamectine, Emamectine benzoate, Lepimectin, Milbemectin
7 Imitateur de l'hormone juvénile Régulation de croissance	7A Analogues des hormone juvéniles	Hydroprene, Kinoprene, Methoprene
	7B Fenoxycarb	Fenoxycarb
	7C Pyriproxifen	Pyriproxifen
8* Inhibiteurs de divers sites de nature inconnus (multi-sites)	8A Halogénures d'alkyl	Methyl bromide and other alkyl halides
	8B Chloropicrin	Chloropicrin
	8C Fluorures	Cryolite (Sodium aluminum fluoride), Sulfuryl fluoride

Principaux groupe/site d'action cibles	Sous-groupe chimique ou exemplification de la MA	Exemples de matière active
8* Inhibiteurs de divers sites de nature inconnus (multi-sites)	8D Borates	Borax, Boric acid, Disodium octaborate, Sodium borate, Sodium metaborate
	8E Tartar emetic	Tartar emetic
	8F Générateurs de méthyl isothiocyanate	Dazomet, Metam
9 Modulateurs du canal TRPV de l'organe chordotonal Système nerveux	9B Dérivées de pyridine d'azométhine	Pymetrozine, Pyrifluquinazon
10 Inhibiteurs de la croissance des acariens Régulation de croissance	10A Clofentezine Diflovidazin Hexythiazox	Clofentezine, Diflovidazin, Hexythiazox
	10B Etoxazole	Etoxazole
11 Destructeurs microbiens de la membrane de l'intestin moyen de l'insecte	11A <i>Bacillus thuringiensis</i> et les protéines insecticides qu'il produit	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. kurstaki <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. aizawai <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. Tenebrionis <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. israelensis Les protéines B.t. : Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Fa, Cry1A.105, Cry2Ab, Vip3A, mCry3A, Cry3Ab, Cry3Bb, Cry34Ab1/Cry35Ab1 11B
	11B <i>Bacillus sphaericus</i>	<i>Bacillus sphaericus</i>
12 Inhibiteurs de l'ATP synthétase mitochondriale Respiration	12A Diafenthiuron	Diafenthiuron
	12B Miticides organostanniques	Azocyclotin, Cyhexatin, Fenbutatin oxide
	12C Propargite	Propargite
	12D Tetradifon	Tetradifon
13* Désaccoupleurs de la phosphorylation oxydative via l'interruption du gradient de proton Respiration	Pyrroles	Chlorfenapyr
	Dinitrophénols	DNOC
	Sulfluramide	Sulfluramid
14 Bloqueurs des récepteurs des canaux nicotiques de l'acétylcholine Système nerveux	Analogues des nereistoxines	Bensultap, Cartap hydrochloride, Thiocyclam, Thiosultap-sodium
15 Inhibiteurs de la biosynthèse de la chitine, type 0 Régulation de croissance	Benzoylureas	Bistrifluron, Chlorfluazuron, Diflubenzuron, Flucycloxuron, Flufenoxuron, Hexaflumuron, Lufenuron, Novaluron, Noviflumuron, Teflubenzuron, Triflumuron
16 Inhibiteurs de la biosynthèses de la chitine, type 1 Régulation de croissance	Buprofezin	Buprofezin

Principaux groupe/site d'action cibles	Sous-groupe chimique ou exemplification de la MA	Exemples de matière active
17 Perturbateurs de la mue, Diptères Régulation de croissance	Cyromazine	Cyromazine
18 Antagonistes des récepteurs des ecdisomes Régulation de croissance	Diacylhydrazines	Chromafenozide, Halofenozide, Methoxyfenozide, Tebufenozide
19 Antagoniste des récepteurs d'octopamine Système nerveux	Amitraze	Amitraz
20 Inhibiteurs du transporteur d'électron du complexe mitochondrial III Respiration	20A Hydramethylnon	Hydramethylnon
	20B Acequinocyl	Acequinocyl
	20C Fluacrypyrim	Fluacrypyrim
	20D Bifenazate	Bifenazate
21 Inhibiteurs du transporteur d'électron du complexe mitochondrial I Respiration	21A METI acaricides et insecticides	Fenazaquin, Fenpyroximate, Pyridaben, Pyrimidifen, Tebufenpyrad, Tolfenpyrad
	21B Rotenone	Rotenone (Derris)
22 Bloqueurs des canaux sodiques voltage-dépendant Système nerveux	22A Oxadiazines	Indoxacarbe
	22B Semicarbazones	Métaflumizone
23 Inhibiteurs de l'acétyl CoA carboxylase Régulation de croissance et de la synthèse des lipides	Dérivés des acides tetronique et tetramique	Spirodiclofen, Spiromesifen, Spirotetramat
24 Inhibiteurs du transporteur d'électron du complexe mitochondrial IV Respiration	24A Phosphures	Aluminium phosphide, Calcium phosphide, Phosphine, Zinc phosphide
	24B Cyanures	Cyanure de calcium, cyanure de potassium, cyanure de sodium
25 Inhibiteurs du transporteur d'électron du complexe mitochondrial II Respiration	25A Dérivés du bêta-ketonitrile	Cyenopyrafen, Cyflumetofen
	25B Carboxanilides	Pyflubumide
28 Modulateurs des récepteurs des ryanodines Système nerveux et muscle	Diamines	Chlorantraniliprole, Cyantraniliprole, Flubendiamide
29 Modulateurs de l'organe Chordotonal Système nerveux	Flonicamide	Flonicamide

Principaux groupe/site d'action cibles	Sous-groupe chimique ou exemplification de la MA	Exemples de matière active
IN* Composés dont le mode d'action est inconnu ou incertain	Azadirachtine	Azadirachtine
	Benzoximate	Benzoximate
	Bromopropylate	Bromopropylate
	Chinomethionate	Chinomethionate
	Dicofol	Dicofol
	GS-omega/kappa HXTXHv1a peptide	GS-omega/kappa HXTX-Hv1a peptide
	Bouillie bordelaise	Bouillie bordelaise
	Pyridalyl	Pyridalyl
	Soufre	Soufre

Source : IRAC, 2017

Il faut noter que :

- (i) Le code couleur utilisé intégrant les MdA aux différentes familles est basé sur les fonctions physiologiques affectées, comme une assistance pour comprendre la symptomatologie et les autres propriétés des insecticides et non pour des raisons de gestion de la résistance. Un schéma dédié à l'alternance pour combattre la résistance doit se baser seulement sur les différents groupes de MdA énumérés ici.
- (ii) Le fait que les noms de certaines matières actives (comme le DDT ou le Fipronil) figurent sur cette liste ne veut pas dire que ces substances sont toujours autorisées dans nos pays¹.
- (iii) L'assignation des MdA comporte l'identification de la protéine cible responsable de l'effet biologique.
- (iv) Les groupes 26 et 27 ne figurent pas pour le moment sur cette liste, ils y ont été sciemment omis.
- (v) Les groupes qui portent un astérisque ne partagent pas forcément la même cible. Ils peuvent donc être délibérément alternés à moins qu'il ait des preuves sur l'existence d'une résistance croisée. Ces groupes sont 8, 13 et IN (Inconnu).
- (vi) Les substances ayant un MdA inconnu ou controversé ou un mode de toxicité inconnu sont groupées dans le groupe IN. Leur classification dans tel ou tel groupe sera réalisée lorsque l'évidence de leur mode d'action sera établie.
- (vii) Les insecticides à base d'huile ou de savon, de suspensions d'agents phytopathogènes, notamment les virus, bactérie, champignon ou nématode entomophagènes de même que les parasitoïdes et les prédateurs ne sont pas pris en compte dans cette classification.

Références sélectionnées

[Compendium of pesticides common name.](#)
[Fishel F.M., 2008. IRAC's Mode of Action Classification.](#)

¹ L'interdiction d'une substance est régit par des textes internationaux comme ceux de la Convention de Stockholm sur les polluant organique persistants (POPs), des textes régionaux ou communautaires (Décision du Comité Sahélien des Pesticides au sein des pays membre du CILSS), ou au niveau d'un Etat (surtout avec la création des Comités Nationaux de Gestion des Pesticides dans les pays de la CEDEAO).

[IRAC, 2017. *IRAC Mode of Action Classification Scheme. Version 8.2.*](#)

Karaağaç S.K., 2012. Insecticide resistance, Chapter 21 *In: Dr Farzana Perveen Ed. *Insecticides-advanced in integrated pest management*. Rijeka, Croatia: InTech.*

Milne G.W.A., 1998. *Agrochemical and pesticides safety handbook*. CRC Press LLC.

Yu J.S., 2008. *The toxicology and biochemistry of pesticides*. CRC Press Tylor and Francis.