

L'écotoxicologie des insecticides organochlorés

Roger. Cabridenc* *directeur scientifique*

L'intérêt de disposer de pesticides efficaces n'est plus à démontrer. En effet, il est indispensable de disposer de moyens de lutte performants contre les insectes nuisibles de façon à assurer le bien-être, le développement et la survie de l'homme. Des nuisances particulièrement graves sont imputables aux insectes.

On peut citer notamment :

- la destruction de récoltes et de réserves alimentaires,
- la transmission de maladies graves à l'homme et aux animaux (malaria, paludisme, typhus, fièvre jaune, etc.),
- la destruction de bois et de textiles naturels,
- etc.

L'emploi de produits insecticides naturels (pyréthre, roténone) ne permettant pas d'aboutir à une situation satisfaisante, des recherches ont été effectuées dans le but d'obtenir des substances à forte activité insecticide. Dès 1930, les travaux ont abouti à la synthèse de dérivés organochlorés notamment au plus célèbre des insecticides : le DDT. De tels produits ont été largement utilisés avec succès lors de la dernière guerre mondiale. Il a été ainsi possible de confirmer leur intérêt du fait de leur large spectre insecticide, mais

Tableau I - Critères d'exposition des écosystèmes aux insecticides organochlorés.

	solubilité aqueuse	bioaccumulation BCF*	dégradation abiotique 1/2 vie	biodégradation ultime 28 jours
DDT	0,04 mg/l	> 100 x 10 ³	5-30 ans	0
Lindane	10 mg/l	0,5 x 10 ³	1 mois - 1 an	3-4 %
Aldrine	0,02 mg/l	63 x 10 ³	5 ans	0
Endrine			20 ans	0
Dieldrine	0,20 mg	11 x 10 ³	> 10 ans	0
Heptachlor	0,05 mg/l	17 x 10 ³	1 mois - 1 an	0
Chlordane	0	130 x 10 ³	> 10 ans	0
Endosulfan	0,10 mg/l	1 x 10 ³	0,5 - 3 ans	2 - 6 %

* BCF : facteur de bioaccumulation. Pour une substance donnée, c'est le rapport entre la concentration chez un organisme vivant et celle dans le milieu aqueux.

également de mettre en évidence des effets secondaires susceptibles de concerner l'homme et les écosystèmes aquatiques et terrestres, ainsi que l'apparition progressive de souches d'insectes résistantes.

Tous les insecticides organochlorés qui ont été progressivement mis sur le marché (dérivés chlorés d'hydrocarbures du cyclohexane, du cyclopentadiène, etc.) présentent à des degrés divers des propriétés communes :

- ils possèdent une activité insecticide très importante résultant de différents mécanismes biochimiques,
- il s'agit de molécules biologiquement très actives, dont la spécificité d'action n'est pas limitée aux cibles à atteindre,
- les quantités utilisées sont importantes (plus de 3 millions de tonnes de DDT ont été dispersées dans la biosphère depuis sa découverte) et peuvent concerner de vastes surfaces et de nombreux usages (agricoles, industriels, ménagers),
- malgré leur faible solubilité dans l'eau, leur dispersion dans les milieux aquatiques est considérable,
- leur dégradation est lente et certains

d'entre eux persistent pendant de longues périodes au sein de l'environnement,

- les bioaccumulations chez les organismes vivants sont importantes.

Pour toutes ces raisons, leur impact sur la santé de l'homme et sur l'équilibre des écosystèmes aquatiques et terrestres a fait l'objet de nombreux travaux. Les résultats de ces travaux ont été retenus pour autoriser, limiter ou interdire certains produits en fonction de leurs usages. Au cours de cet exposé, nous examinerons l'état des connaissances concernant l'écotoxicologie des insecticides organochlorés et les conséquences qui en résultent concernant leur emploi.

Principaux insecticides organochlorés

Parmi les principaux produits encore actuellement utilisés, on peut citer :

- des dérivés chlorés d'hydrocarbures : le DDT, le Lindane (isomère γ de l'hexachlorocyclohexane)
- des dérivés chlorés du cyclopentadiène : l'aldrine, l'endrine, la dieldrine,

* Ineris, 9, rue de Rocroy, 75010 Paris.
Tél. : (1) 45.96.09.56. Fax : (1) 45.96.09.57.

Tableau II - Critères d'effets des insecticides organochlorés sur les écosystèmes aquatiques (CE50 * mg/l).

	Toxicité vis-à-vis des algues	Toxicité vis-à-vis des microcrustacés	Toxicité vis-à-vis des poissons
DDT	2	0,001 - 0,1	0,001 - 0,01
Lindane	2 - 10	0,01 - 0,1	0,009 - 0,25
Aldrine		0,03 - 0,27	0,015 - 0,15
Endrine		0,04 - 0,9	0,006 - 0,2
Dieldrine		0,02 - 0,9	0,006 - 0,2
Heptachlor		0,04	0,007 - 0,25
Chlordane		0,04 - 1	0,007 - 0,2
Endosulfan		0,05 - 0,24	0,001

*CE50 : ce sont les concentrations responsables d'un effet chez 50 % des animaux.

l'Heptachlore, le chlordane, l'Endosulfan.

Si, par le passé, de tels produits ont été largement utilisés, leur emploi est maintenant beaucoup plus limité du fait des réglementations qui ont été progressivement mises en place dans les principaux pays industrialisés où seuls le Lindane (1 500 tonnes/an en France) et l'Endosulfan (300 tonnes/an en France) restent autorisés pour les usages agricoles.

Cependant, de nombreux produits restent utilisables dans certains pays ou pour des usages particuliers qui peuvent se justifier (démoustication, destruction de sauterelles, protection des bois, usages ménagers ou industriels, etc.).

Risques de contamination de l'environnement

Les risques de contamination de l'environnement par les insecticides organochlorés ne peuvent donc être exclus, ils concernent plus particulièrement :

- la fabrication des matières actives et des formulations (rejets d'effluents, de déchets solides, etc.),
- les accidents de stockage (incendie) ou de transport par voie terrestre ou maritime,
- les usages, plus particulièrement les mauvaises pratiques de traitement (surdosage, traitement des superficies exagérées, destruction incontrôlée de déchets).

Risques écotoxicologiques liés aux pesticides organochlorés

Très rapidement des mesures et des observations faites sur le terrain ont permis de constater que l'emploi intensif des insecticides organochlorés avait

pour conséquences une contamination persistante de l'environnement et des effets non négligeables au niveau des écosystèmes aquatiques et terrestres :

- des teneurs non négligeables ont été observées au niveau des eaux de surface, des sédiments et de certains organismes se situant aux extrémités des chaînes alimentaires. On met actuellement encore en évidence des traces de DDT ou de dieldrine dans l'environnement alors que l'usage de ces produits est interdit pour les usages agricoles depuis de nombreuses années,
- des mortalités de poissons, d'oiseaux piscivores et de rapaces ont été attribuées aux insecticides organochlorés,
- chez les oiseaux, une fragilité constatée au niveau de la coquille des œufs a également été imputée à des perturbations du métabolisme du calcium dues à la bioaccumulation de produits organochlorés.

De telles constatations ont incité les producteurs de matières actives à obtenir des données écotoxicologiques utilisables pour aboutir à une évaluation des risques vis-à-vis des écosystèmes aquatiques et terrestres. Une telle évaluation est basée sur la prise en considération des propriétés intrinsèques des molécules permettant de prévoir d'une part l'exposition, d'autre part les effets toxiques.

La prévision de l'exposition, susceptible de concerner les écosystèmes, fait intervenir trois paramètres :

- Le comportement et notamment la répartition des produits dans les trois principaux compartiments de l'environnement : l'air, l'eau et les sédiments, les sols. Cette répartition est évaluée en tenant compte des propriétés physiques suivantes : les solubilités dans l'eau et dans les graisses, le coefficient de partage octanol-eau, le coefficient

d'adsorption sur différents matériaux, la constante de Henry.

- Le devenir des produits au sein de ces compartiments, notamment leur vitesse de dégradation ou de biodégradation.

Différents mécanismes régissent une telle évolution : la photodégradation, l'hydrolyse, la biodégradation primaire qui ont pour conséquences des transformations partielles des structures moléculaires conduisant éventuellement à une disparition des propriétés insecticides, la biodégradation « ultime » qui a pour conséquence une destruction complète des structures moléculaires avec pour garantie une disparition des nuisances et un recyclage des éléments constitutifs des molécules.

- Les possibilités de bioaccumulation directes ou par l'intermédiaire des chaînes alimentaires. De telles informations sont obtenues au moyen du coefficient de partage octanol/eau ou lors de la réalisation d'essais de laboratoire (facteur de bioaccumulation BCF).

Les principales données actuellement disponibles sont résumées dans le *tableau I*. Leur examen confirme que les insecticides organochlorés :

- sont peu solubles dans l'eau (le plus soluble d'entre eux étant le Lindane) mais ils sont facilement solubles dans les graisses,
- présentent un coefficient de partage octanol/eau et des facteurs de bioaccumulation (BCF) élevés et sont considérés comme bioaccumulables directement ou par l'intermédiaire des chaînes alimentaires. La bioaccumulation est particulièrement importante dans le cas du DDT et des dérivés chlorés du cyclopentadiène (à l'exception de l'Endosulfan). Elle est plus limitée dans le cas du Lindane.
- présentent des possibilités de dégradation abiotique variables en fonction des structures et des conditions de milieu. Les possibilités de biodégradation ont pu être mises en évidence, mais les cinétiques sont très lentes et ne conduisent pas toujours à une biodégradation totale.

D'une manière générale, les insecticides organochlorés sont considérés comme persistants. Seuls l'Endosulfan et le Lindane semblent pouvoir disparaître relativement rapidement selon divers mécanismes abiotiques ou biotiques.

La prévision des effets, susceptibles de concerner les différentes populations constituant les écosystèmes, est basée sur la réalisation de bioessais de laboratoire (éventuellement de terrain) ou sur l'exploitation de relations structure-activité.

En ce qui concerne la prévision *des effets vis-à-vis des écosystèmes aquatiques*, les essais portent plus particulièrement sur :

- les bactéries (inhibition de la croissance, inhibition de la bioluminescence, effets génotoxiques),
- les algues (inhibition de la reproduction),
- les microcrustacés (immobilisation, inhibition de la reproduction),
- les poissons (effets létaux, inhibition de la croissance, inhibition de la reproduction, effets sur les formes juvéniles).

Les données concernant la toxicité, sont résumées dans le *tableau II*. Leur examen montre que, dans tous les cas, les insecticides organochlorés sont responsables d'une toxicité très importante vis-à-vis de deux populations représentatives des écosystèmes aquatiques : les microcrustacés et les poissons. Pour tous les produits, des effets importants peuvent se manifester à des concentrations variant entre 1 à 10 mg/l.

En ce qui concerne la prévision *des effets vis-à-vis des écosystèmes terrestres*, les essais portent plus particulièrement sur :

- les bactéries (inhibition de la croissance d'espèces intervenant dans les grands cycles biologiques : carbone - azote - soufre),
- les végétaux (inhibition de la germination, inhibition de la croissance),
- les vers de terre (effet léthal, inhibition de la reproduction),
- les insectes pollinisateurs,
- les oiseaux (effet léthal, inhibition de la reproduction).

Les données actuellement disponibles montrent que les pesticides organochlorés interfèrent peu sur l'activité des bactéries des sols et sur la croissance des végétaux. Les accumulations chez les vers de terre et les effets toxiques qui en résultent peuvent être importants mais varient considérablement avec la structure des sols.

Les effets vis-à-vis des insectes pollinisateurs et sur les autres espèces jouant un rôle bénéfique dans l'équi-

libre de l'écosystème sont dans tous les cas importants du fait de l'absence de spécificité de l'action des insecticides.

L'étude des effets toxiques vis-à-vis des oiseaux montre que les doses responsables des mortalités (DL 50 mg/kg d'animal) peuvent varier en fonction des structures étudiées (30 mg/kg pour l'aldrine, 500 mg/kg pour le Lindane, 1 000 mg/kg pour l'Endosulfan).

L'acquis de connaissances considérable concernant l'impact des insecticides organochlorés vis-à-vis des écosystèmes aquatiques et terrestres a rapidement confirmé les inquiétudes qui s'étaient manifestées dès leur emploi intensif en agriculture.

Il s'agit de substances a priori dangereuses du fait de leurs propriétés biocides peu spécifiques et des nombreux usages auxquels elles sont destinées. Dans de nombreux pays, elles doivent donc faire l'objet d'autorisations préalables, à leur mise sur le marché (homologation) et à des examens périodiques susceptibles de remettre en cause les décisions prises.

En France, une telle procédure est applicable aux produits à usage agricole depuis 1943. Dans un premier temps les autorisations ont été basées sur des critères d'efficacité et d'inocuité vis-à-vis de l'homme ; des critères écotoxicologiques ont été ultérieurement pris en considération. Dès 1972, la persistance et l'importante bioaccumulation de certains produits ont conduit les autorités compétentes à revoir des positions préalablement prises. Dès cette époque, dans la majorité des pays industrialisés, seuls le Lindane et l'Endosulfan ont été autorisés en agriculture. Cependant les autres produits peuvent être utilisés pour certains usages (ménagers ou industriels) ou dans des circonstances particulières (démoustication, traitements antitermites, médecine vétérinaire).

Au niveau européen des procédures ont également été progressivement mises en place dans le but de prévoir et de prévenir les risques vis-à-vis de l'environnement (procédures de limitations, d'interdictions, d'autorisations, d'informations).

Les insecticides organochlorés figurent dans la liste des substances prioritaires citées en annexe de la Directive

76/464 CEE concernant les substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique.

Les matières actives «nouvelles» à usage non agricole doivent faire l'objet de notifications selon les procédures décrites dans les modifications successives de la directive 67/548 CEE, notamment la directive 92/32/CEE.

La mise sur le marché des matières actives et des formulations phytopharmaceutiques est régie par la directive 91/414 CEE (en vigueur depuis le 25 juillet 1993).

Enfin, une directive relative à la mise sur le marché des produits biocides quels que soient leurs usages fait l'objet de discussions finales (93/239 CEE).

Conclusion

La lutte contre les insectes nuisibles prédateurs de récoltes, hôtes vecteurs de maladies graves, ou destructeurs de matériaux reste une préoccupation constante et importante. L'emploi d'insecticides de synthèse notamment de dérivés chlorés constitue un des moyens efficaces pour atteindre un tel objectif. Cependant, il est nécessaire de faire un bilan des avantages et des inconvénients résultant de l'emploi de tels produits qui, du fait de leur importante activité biologique et de leur spécificité limitée vis-à-vis des cibles à détruire, peuvent être responsables d'effets particulièrement graves pour l'homme et l'environnement.

Les réglementations actuelles, notamment les procédures d'autorisation de mise sur le marché en fonction de divers usages permettent de trouver un compromis satisfaisant en interdisant ou en limitant strictement l'emploi des produits persistant dans l'environnement pendant de longues périodes, présentant une potentialité de bioaccumulation élevée, et des toxicités particulièrement importantes pour l'homme et les populations constituant les écosystèmes aquatiques et terrestres.