



Biodiversité :

victime silencieuse
des pesticides 

WWF

Le WWF est l'une des toutes premières organisations indépendantes de protection de l'environnement dans le monde. Avec un réseau actif dans plus de 100 pays et fort du soutien de 5 millions de membres, le WWF œuvre pour mettre un frein à la dégradation de l'environnement naturel de la planète et construire un avenir où les humains vivent en harmonie avec la nature, en conservant la diversité biologique mondiale, en assurant une utilisation soutenable des ressources naturelles renouvelables et en faisant la promotion de la réduction de la pollution et du gaspillage.

En 2011, le WWF fête ses 50 ans.

Depuis 1973, le WWF France agit au quotidien afin d'offrir aux générations futures une planète vivante.

Avec ses bénévoles et le soutien de ses 190 000 donateurs, le WWF France mène des actions concrètes pour sauvegarder les milieux naturels et leurs espèces, assurer la promotion de modes de vie durables, former les décideurs, accompagner les entreprises dans la réduction de leur empreinte écologique et éduquer les jeunes publics. Mais pour que le changement soit acceptable il ne peut passer que par le respect de chacune et chacun. C'est la raison pour laquelle la philosophie du WWF est fondée sur le dialogue et l'action. Depuis décembre 2009, la navigatrice Isabelle Autissier est présidente du WWF France.

© Concept & design by © ArthurSteenHorneAdamson

Synthèse réalisée par Audrey Foubert

sous la direction de Cyrille Deshayes, Pascal Grondin, Jean-Claude Lefevre, Hélène Roche, Christine Sourd

© 1986 Panda Symbol WWF - World Wide Fund For nature (Formerly World Wildlife Fund)

® "WWF" & "living planet" are WWF Registered Trademarks / "WWF" & "Pour une planète vivante" sont des marques déposées.

WWF France. 1 carrefour de Longchamp. 75016 Paris.
www.wwf.fr

SOMMAIRE

I - LE DOUBLE-JEU DES PESTICIDES	6
1. QUEL LIEN AVEC LA BIODIVERSITÉ	8
2. IL Y A 50 ANS, UN PREMIER AVERTISSEMENT	8
3. UN REVEIL TARDIF DE L'EUROPE	9
4. MAIS TOUJOURS LE MÊME CONSTAT	10
II - QU'EST-CE QU'UN PESTICIDE ?	12
1. SI ON FAISAIT UN CLASSEMENT	16
2. UNE VIEILLE HISTOIRE	17
3. QUELQUES CHIFFRES	18
4. DE PESTICIDE À MICROPOLLUANT : QUEL CHEMINEMENT ?	20
5. QUE NOUS DIT LE LÉGISLATEUR ?	24
III - BIODIVERSITÉ, PREMIÈRE VICTIME DES PESTICIDES	28
1. LES AGROSYSTEMES : L'ARROSEUR ARROSÉ	32
2. LES ZONES HUMIDES : LA SOUPE CHIMIQUE	52
3. LES RÉCIFS CORALLIENS : ON DÉSHERBE LE CORAIL !	66
4. ZONES URBANISÉES : PEUT MIEUX FAIRE !	68
IV - NÉCESSITÉ D'UN NOUVEAU PARADIGME : LA RELATION HOMME NATURE, UNE COPIE À REVOIR	72
RÉFÉRENCES	77

« Si le demi-siècle dernier a vu naître les notions de ‘qualité environnementale’ ou ‘d’évaluation des risques chimiques’, il a révélé un nouveau paradigme, laissant obsolète le théorème de Paracelse « c’est la dose qui fait le poison ». Les concepts de fenêtres de sensibilité des pesticides au cours du développement, de perturbation qu’elle soit neurotoxique ou endocrinienne, d’effet cocktail ou de bioamplification, illustrent ce que l’on peut craindre de ces molécules chimiques envers les relations entre les organismes non-cibles des écosystèmes et sur leur implication dans l’érosion de la biodiversité. »

Hélène Roche (2012)

« Les pollutions engendrées par les pesticides sont une remarquable illustration des catastrophes écologiques auxquelles peut conduire l’usage irréfléchi d’une technologie dont l’impact environnemental n’avait pas fait objet, au préalable, d’une estimation satisfaisante des dangers potentiels associés. »

François Ramade (2006)

« Alliés sinistres et méconnus des éléments radioactifs, les produits chimiques œuvrent avec eux à la modification de la nature même du monde – la nature même de la vie. »

« Les générations à venir nous reprocheront probablement de ne pas nous être souciés davantage du sort futur du monde naturel, duquel dépend toute vie. »

Rachel Carson (1962)



© MICHEL GÜNTHER / WWF-CANON

Récipients de pesticide abandonnés sur place après utilisation.

I

LE DOUBLE-JEU DES PESTICIDES

Les pesticides sont des substances chimiques exerçant une activité de contrôle contre des organismes considérés nuisibles par l'homme pour ses activités. Naturels ou de synthèse, ils sont majoritairement destinés à la protection des cultures et ont permis le développement d'un modèle d'agriculture réputé « moderne ». L'agriculture conventionnelle basée sur un mode de production intensive repose entièrement sur l'utilisation de ces produits chimiques. Ce modèle cultural est devenu dominant à travers le monde au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle et s'établit, de plus en plus, dans de nombreux pays émergents¹. Ces produits chimiques étant faciles d'accès et d'emploi, peu chers et se révélant très efficaces à large échelle, ont été privilégiés par les exploitants agricoles. Disposant de moyens d'intervention directe sur les principaux bio-agresseurs de ses cultures, l'agriculteur dissocie souvent dans son choix de système de culture, les éléments qui contribuent à la recherche du potentiel de production le plus élevé et ceux qui préservent ce potentiel. Il privilégie donc les pratiques en fonction d'un objectif de production, au risque d'augmenter l'impact environnemental et sanitaire et d'avoir à en traiter les symptômes². Parallèlement à l'usage agricole, l'entretien des espaces verts, des voiries et des jardins d'agrément, les campagnes de démoustication, la lutte contre les vecteurs de maladies, l'utilisation de produits antiparasitaires sur les animaux de compagnie ou d'élevage et l'amélioration du confort domestique, constituent également des sources de diffusion des pesticides dans l'environnement.

1. QUEL LIEN AVEC LA BIODIVERSITÉ ?

Les pesticides, en raison de leur toxicité avérée et de leur dispersion répétée à travers le monde, représentent un des facteurs responsables du déclin de la biodiversité au même titre que la fragmentation et la dégradation des milieux naturels, la surexploitation des ressources naturelles, l'utilisation d'espaces naturels à des fins agricoles ou d'urbanisation, l'introduction et la propagation d'espèces invasives, le changement climatique et de nombreuses autres menaces³. Assurément, nous sommes actuellement confrontés à une crise grave de la biodiversité c'est-à-dire de la diversité des espèces animales et végétales, de leurs populations, de leurs habitats et de leurs gènes. Le taux d'extinction des espèces, 1000 fois supérieur au taux naturel, et le rythme de destruction des écosystèmes, s'accroît de jour en jour. Le fonctionnement des écosystèmes qui nous fournissent des produits et des services vitaux (biens et services écosystémiques), tels que l'oxygène, la nourriture, l'eau douce et les médicaments, dépend entièrement de cette diversité biologique. Ce fonctionnement est, par conséquent, grandement altéré par cet appauvrissement biologique. Selon l'UICN³, une biodiversité saine est indispensable au bien-être humain, au développement durable et à la réduction de la pauvreté. Hors, en 2010, 1 espèce d'oiseaux sur 4, 1 espèce d'amphibiens (groupe le plus menacé au monde), de reptiles et de poissons d'eau douce sur 5, 1 espèce de mammifères sur 10, ou encore 1 espèce d'orchidées sur 6, risquent de disparaître en métropole. Outre-mer, 49 des 100 espèces considérées comme les plus envahissantes sont présentes. Les récifs coralliens sont eux endommagés de 10 à 80 % selon les territoires⁴. D'après le rapport « Planète vivante 2012 » du WWF⁵, l'indice planète vivante^A suggère que les populations de vertébrés de la planète étaient en moyenne 30% moins abondantes en 2008 qu'elles ne l'étaient en 1970.

La sous-évaluation des conséquences environnementales de l'usage des pesticides et de leurs impacts sur la santé humaine a longtemps été de rigueur, et l'est encore aujourd'hui, malgré l'émergence, depuis plusieurs décennies, de politiques de réduction des pollutions environnementales².

2. IL Y A 50 ANS, UN PREMIER AVERTISSEMENT

Rachel Carson, biologiste et célèbre écrivain naturaliste américain, fut la première à interpeller l'opinion à propos des effets néfastes de ces substances chimiques sur toute forme de vie dans son célèbre ouvrage « Silent Spring » (« Printemps silencieux »), publié en 1962. C'est après avoir reçu une lettre d'une femme qui lui disait que le DDT tuait les oiseaux, que Rachel Carson décida d'alerter l'opinion⁶. A travers de multiples témoignages et en s'appuyant sur les études scientifiques de l'époque, elle traitait des nombreux aspects des pollutions par les pesticides, comme les effets de ces substances au sein même des organismes à différents niveaux (génétique, cellulaire, physiologique), les déséquilibres écologiques, la contamination des eaux superficielles et souterraines, les installations de traitements des eaux inadaptées, la persistance et le transfert des pesticides organochlorés, la résistance aux pesticides ou encore les possibles effets des mélanges des substances, mais aussi l'utilisation de produits naturels pour les contrôles biologiques et la sécurité humaine. L'homme empoisonnant progressivement la planète était ainsi devenu un concept inattendu et provocateur. La prise de conscience des dangers des pesticides à toutes les échelles, qu'elle a éveillée, a catapulté ce qui était connu des environmentalistes en direction des

A. Indice qui reflète l'état de la biodiversité globale en utilisant les évolutions de la taille de population des espèces de vertébrés de différents biomes et régions pour calculer des changements d'abondance moyenne au cours du temps.

politiciens, des industriels, des scientifiques et des secteurs publics de la société. Malgré la controverse de l'époque, toujours d'actualité, cela a eu et a toujours un impact fort sur les sociétés. La décision d'interdire l'utilisation du DDT en 1972 a été fortement influencée par cet ouvrage⁷. Les pesticides peuvent avoir, véritablement, des effets toxiques (directs ou indirects) à court terme sur les organismes qui y sont directement exposés, mais aussi à long terme, en provoquant des altérations des habitats, des réseaux trophiques et des changements dans la structure des communautés (perturbations des relations compétitives entre espèces et des relations prédateur-proie)⁸. Ces substances ont donc un impact à toutes les échelles de la vie : du gène, unité de base du monde vivant à l'écosystème résultant des interactions des êtres vivants entre eux et avec leur environnement.

Le Dr. Theo Colborn, ancienne responsable du WWF US, mais aussi présidente de l'organisation TEDX (The Endocrine Disruption Exchange)⁹, est une autre figure majeure dans le domaine de l'étude des pollutions chimiques et de leurs impacts sur les organismes. Elle sera à jamais liée à son livre « Our Stolen Future » publié en 1996 (édité en France sous le titre « L'homme en voie de disparition ? »). Dans cet ouvrage, traduit aujourd'hui dans 18 langues, elle démontre pour la première fois que nombre de polluants, dont les pesticides, ont la capacité, même à très faibles doses, de perturber le développement des êtres vivants et aussi celui de leur descendance par une dérégulation de l'équilibre hormonal. Le système hormonal ou endocrinien régule, à travers la production et l'émission de molécules messagères - les hormones - un grand nombre de fonctions vitales comme la croissance, le développement sexuel et le comportement - ... - . Et les effets de ce déséquilibre sont aussi divers que désastreux : féminisation des mâles ou masculinisation des femelles, anomalies des organes reproducteurs, anomalies congénitales, perturbation du métabolisme, risque accru de cancer et autres pathologies. Les pesticides peuvent donc avoir des effets souvent irrémédiables sur l'Homme, la faune et la flore de notre planète. Les travaux que Theo Colborn a synthétisés dans ce livre ont conduit à la mise en place de nouvelles législations dans le monde entier et ont réorienté les recherches scientifiques et les actions des gouvernements et du secteur privé. Encore aujourd'hui, les perturbateurs endocriniens font parler d'eux comme en témoigne le rapport « Perturbateurs endocriniens » du WWF France publié récemment (2011)¹⁰.

3. UN RÉVEIL TARDIF DE L'EUROPE

L'Union Européenne semble avoir pris conscience de ces problèmes et a élaboré et développé depuis plusieurs années une politique visant à réduire la perte de diversité biologique en agissant sur les causes de ce déclin. Ainsi, en 2001, l'UE s'engageait à stopper l'érosion de la biodiversité à l'horizon 2010. Pour répondre à cet engagement, la France a adopté sa stratégie nationale pour la biodiversité en 2004 et lancé 10 plans d'action sectoriels : Agriculture, Infrastructures des transports, International, Mer, Patrimoine naturel, Territoires, Urbanisme, Forêt, Outre-mer, Recherche et Tourisme. Malheureusement, d'après un bilan de l'UICN 2004-2010¹¹, cette stratégie n'a pas atteint ses objectifs, les mesures pour freiner les pressions qui s'exercent sur la biodiversité étant insuffisantes et les tendances lourdes comme l'artificialisation du territoire, l'intensification agricole et l'exploitation excessive de la mer se poursuivant à un rythme important. Ainsi, la loi dite « Grenelle 2 » portant sur un engagement national pour l'environnement, a été promulguée le 12 juillet 2010. Elle permet de décliner de manière concrète les orientations du « Grenelle 1 » (loi de programmation du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement) qui a déterminé les objectifs du gouvernement dans le domaine environnemental. La préservation de la biodiversité est l'un des six principaux objectifs du Grenelle avec des dispositions relatives à l'agriculture, à la protection des espèces et des habitats ainsi qu'à l'assainissement et à la protection des réserves en eau¹². Effectivement, parmi les mesures phares relatives à la préservation de la biodiversité en France, figure la réduction de 50% de l'utilisation des pesticides en France, si possible, d'ici 2018 à travers le plan écophyto 2018¹³. Ce plan lancé en 2008, est piloté par le Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire.

4. MAIS TOUJOURS LE MÊME CONSTAT

Bien que certaines mesures ait été prises, elles semblent toutefois insuffisantes étant donnée la persistance actuelle de problèmes majeurs relatifs à l'utilisation des pesticides que dénonçait déjà Rachel Carson en 1962. La dangerosité des pesticides envers l'homme et l'environnement est toujours d'actualité en France, mais aussi à travers le monde. La France est le 4ème consommateur mondial de produits phytosanitaires derrière les Etats-Unis, le Brésil et le Japon et le 1er européen avec une agriculture très dépendante des pesticides¹⁴.

L'Institut Français pour l'Environnement (IFEN), dissous en 2008 et remplacé par un service du ministère de l'écologie, avait pour mission de produire et diffuser l'information sur l'état de santé de l'environnement. Dans son rapport, relatif à la qualité des eaux en France en 2006¹⁵, il met en évidence la présence de pesticides dans 96% des points de mesures des cours d'eau et 61% des points de mesures des eaux souterraines (mesures sur 10 000 stations entre 2003 et 2004). Les niveaux de contamination sont souvent significatifs. L'exemple du chlordécone (Képone®), un insecticide utilisé dans les années 1972-1993 dans les bananeraies des Antilles françaises (Martinique et Guadeloupe) pour lutter contre le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*)¹⁶, montre que les contaminations peuvent persister dans les eaux superficielles comme en eaux souterraines à un niveau élevé longtemps après l'interdiction d'utilisation des substances responsables. Ces analyses ont été, de plus, confirmées par le rapport « L'état des eaux en France » du WWF publié en 2011¹⁷.

Un rapport de 2011 du Commissariat Général du Développement Durable (CGDD)¹⁸ du ministère chargé de l'environnement estime à 74 tonnes la quantité de pesticides dilués dans les flux annuels ruisselés dans les rivières ou écoulés des nappes phréatiques à la mer. Le traitement de ces apports annuels de pesticides aux eaux de surface et côtières se situerait dans une fourchette de 4,4 à 14,8 milliards d'euros. Ces coûts n'incluent pas, bien évidemment, ceux des impacts sur la faune et la flore de ces écosystèmes, mais seulement les coûts de dépollution. Toujours selon le CGDD, si l'on voulait aussi dépolluer les nappes, il faudrait encore ajouter une somme comprise entre 32 et 105 milliards d'euros (dont seulement 7 milliards pour le respect de la directive eaux souterraines). Ces coûts sont aujourd'hui en grande partie assumés par les ménages au travers de leur facture d'eau potable.

Un autre rapport récent (2010) émanant de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse¹⁹ nous informe que seulement 51% des cours d'eau que gère cette agence sont en bon état écologique. Ce taux, certes meilleur par rapport à la moyenne nationale qui est de 45% est cependant encore en dessous de l'objectif du Grenelle de l'environnement, qui vise l'atteinte des 66% en 2015. Ce rapport met surtout en exergue la contamination généralisée des cours d'eau par les pesticides et particulièrement par le glyphosate, la substance active du « Roundup® »^B, et aussi par l'AMPA, son principal produit de dégradation que l'on retrouve quasiment partout, et précisément dans trois quarts des cours d'eau. Les concentrations mesurées sont alarmantes parfois 300 fois plus importantes que la norme « Eau potable ». En outre, les premiers effets sur la santé apparaissent à des concentrations 50 fois moindre par rapport à certains taux mesurés. Mais, ce qui est inouï aussi est que ce rapport met en avant la découverte de six substances interdites d'utilisation dans 60% des points sur les cours d'eau et 45% des points sur les eaux souterraines : l'atrazine, herbicide dont l'usage est prohibé depuis 2003, le métolachlore, la simazine, la terbuthylazine, l'oxadixyl (un fongicide) et le diuron, herbicide interdit depuis 2008. La présence des triazines (suffixe « -zine ») prohibées, retrouvées dans des milieux vifs, dont les cours d'eau, est bien la preuve de leur usage toujours actuel, bien qu'illicite depuis plusieurs années. Il ne peut s'agir de résultats liés à des effets de persistance des substances actives.

Le réseau SAGIR²⁰ (acronyme de « Savoir pour agir ») est le réseau national de surveillance sanitaire de la faune sauvage. Créé en 1986, il est basé sur un partenariat entre les Fédérations Départementales de Chasseurs (FDC), les Laboratoires Vétérinaires Départementaux (LVD), le laboratoire spécialisé de l'ANSES-Nancy (anciennement

B. Le Roundup® est un herbicide très couramment utilisé à faibles doses car il qui inhibe la synthèse des acides aminés dans les plantes jugées « indésirables » pour les cultures. Il est appliqué dans les maisons, les jardins, les forêts, le long des voies de circulation et les zones de culture.

AFSSA-Nancy), l'École Nationale Vétérinaire de Lyon (ENVL) et l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS). Ce réseau permet d'assurer une veille sanitaire générale de la faune sauvage (oiseaux, mammifères), afin de mettre en évidence les principales causes de mortalité extra-cynégétique de cette faune, de révéler des problèmes pathologiques ou écotoxicologiques et d'en faire l'analyse. Parmi les pathologies recensées par ce réseau les intoxications ne sont pas rares. Ce sont majoritairement des intoxications secondaires à la bromadiolone (anticoagulant destiné au contrôle des rongeurs). En 2011 dans le Doubs, huit mammifères (sangliers (*Sus scrofa*) et renards (*Vulpes vulpes*)) ont été autopsiés dans le cadre du suivi des effets non intentionnels liés à l'utilisation agricole de la bromadiolone. Les résultats toxicologiques ont confirmés leur intoxication à la bromadiolone. Début 2012, trois autres fortes suspicions d'intoxication de renards et sangliers par un anticoagulant ont été rapportées. En janvier 2012, trois cadavres de milans royaux (*Milvus milvus*) ont été découverts sur deux communes du Puy-de-Dôme où des traitements à la bromadiolone ont été autorisés par voie préfectorale. Ces nouveaux cas portaient à 44 (dont 28 milans royaux et 16 buses variables (*Buteo buteo*)) le nombre de rapaces découverts morts en trois mois, victimes d'empoisonnement par ce puissant toxique.

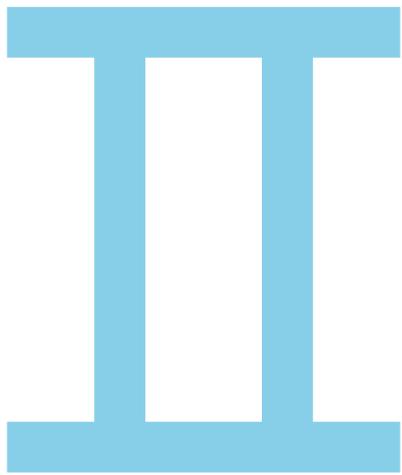
Le 10 mai 2012, l'Académie américaine des sciences organisait un sommet sur les plantes génétiquement modifiées résistantes aux herbicides. Il s'agissait plutôt d'une réunion de crise. Les mauvaises herbes deviennent résistantes elles aussi aux herbicides tel que le Roundup®, elles se multiplient très vite et envahissent les champs de soja, de maïs, de coton et de colza. Avec les pesticides il se passe la même chose qu'avec les antibiotiques. Quand on les utilise trop souvent et systématiquement, ils perdent leur efficacité car les plantes développent des résistances. Chaque année, de nouvelles plantes sauvages développent des résistances. Leurs mécanismes de défense sont efficaces et, une fois sélectionnés, ils sont transmis à leur descendance²¹. La résistance de l'amarante de Palmer (*Amaranthus palmeri*) au Roundup® en est le parfait exemple. Une étude (2010)²² montre comment cette plante « mauvaise herbe », a développé une résistance au glyphosate. Menée par des universitaires américains, australiens ainsi que par des chercheurs de Monsanto, cette étude révèle la nature du phénomène de résistance chez des plantes issues d'un champ cultivé situé dans l'état de Géorgie. Déjà observé depuis de nombreuses années, le phénomène de résistance au glyphosate ne cesse de s'étendre aux Etats-Unis : selon les estimations des auteurs, en 2009, l'amarante de Palmer résistante occupait au moins 250 000 hectares, essentiellement dans les états de Géorgie, du Tennessee, de la Caroline du Nord, de la Caroline du Sud et de l'Arkansas.

Toujours en 2012, le tribunal de grande instance de Lyon a jugé que la société Monsanto était responsable de l'intoxication d'un agriculteur français par l'un des pesticides qu'elle commercialisait à l'époque des faits. En 2004, alors qu'il nettoyait une cuve contenant un désherbant à base d'alachlore et d'atrazine, le Lasso®, Paul François, un céréalier charentais, tombe dans le coma puis est frappé d'amnésie. De graves problèmes de santé d'ordre neurologique se sont ensuite déclarés l'obligeant à stopper son activité pendant près d'un an. Paul François a porté plainte en 2007 contre le géant de l'agrochimie. Ses troubles persistants ont été reconnus en maladie professionnelle et l'agriculteur est désormais considéré comme invalide à 50%. Le Lasso® a depuis été retiré du marché français²³.

Le 27 février 2012, des agriculteurs victimes des pesticides et membres de l'association Phyto-victimes²⁴ se sont invités au Salon de l'agriculture. Ils ont manifesté sur le stand de l'Union des Industries de la Protection des Plantes (UIPP), considérée comme le lobby des pesticides.

Certes, des mesures sont prises quant à la réduction de l'utilisation des pesticides. Mais ces mesures sont-elles suffisantes pour réduire de façon notable et durable les effets observés ou à venir sur la biodiversité dont l'homme fait partie? Existe-t-il des alternatives? Les effets « cocktail » sont-ils pris en considération? Quelles sont aujourd'hui les préoccupations des scientifiques vis-à-vis de l'impact des pesticides et tout particulièrement en ce qui concerne les nouvelles molécules?

Cette synthèse a pour objectif d'apporter des réponses à certaines de ces questions en dressant un état des lieux des impacts de ces substances sur la biodiversité à travers la mise en avant d'études scientifiques récentes et de rapports d'experts.



QU'EST-CE QU'UN PESTICIDE ?

Le terme pesticide, dérivé de l'anglais pest (« ravageurs ») et du latin cida (« tuer »), désigne les substances naturelles ou de synthèse ou les préparations commerciales utilisées pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes jugés indésirables, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux, de champignons ou de bactéries²⁵. Ils regroupent les phytopharmaceutiques ou phytosanitaires comme les herbicides, les insecticides, les fongicides ... mais aussi d'autres produits dont on valorise les propriétés sanitaires regroupés sous le terme générique de biocides (désinfectants, produits antiparasitaires) (Cf. Encadré 1).

Phytosanitaires vs Biocides

Encadré 1

La directive européenne du 15 juillet 1991 concernant la mise sur le marché des produits phytosanitaires, les définit comme:

« Les substances actives et les préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur et qui sont destinées à:

- protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action,
- exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, pour autant qu'il ne s'agisse pas de substances nutritives (il s'agit par exemple des régulateurs de croissance),
- assurer la conservation des produits végétaux, pour autant que ces substances ou produits ne fassent pas l'objet de dispositions particulières du Conseil ou de la Commission concernant les agents conservateurs,
- détruire les végétaux indésirables,
- détruire les parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux. ».

La directive européenne du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides, les définit comme:

« Les substances actives et les préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur, qui sont destinées à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière, par une action chimique ou biologique. ».

Sources:

Observatoire des résidus de pesticides (ORP),

<http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/>

Ils entrent dans la composition de nombreux produits d'usage industriel, agricole ou domestique. Dans l'environnement, ils deviennent micropolluants, c'est-à-dire substances, organiques ou minérales, qui, même à de très faibles concentrations, de l'ordre du microgramme par litre ($\mu\text{g/L} = 10^{-6}\text{g/L}$) ou du nanogramme par litre ($\text{ng/L} = 10^{-9}\text{g/L}$), présentent un potentiel toxique et sont susceptibles d'engendrer des nuisances en perturbant le fonctionnement des écosystèmes²⁶.

A la différence de tous les autres types de polluants, les pesticides sont la plupart du temps dispersés intentionnellement dans les écosystèmes afin de détruire les ravageurs des cultures ou des forêts, des plantes adventices ou des maladies des cultures, ou encore des parasites des animaux domestiques et de l'Homme¹.

90 à 95 % des pesticides sont utilisés en agriculture¹⁴. Ils font également l'objet d'un usage non agricole par les gestionnaires d'équipements ou de réseaux de transport, les collectivités locales ou les particuliers²⁷. Les usages des pesticides sont en effet multiples : l'entretien des infrastructures routières et ferroviaires, l'entretien des parcs et des jardins publics, les opérations de dératisation ou de désinsectisation... Les pesticides sont aussi présents dans notre environnement quotidien : on les utilise pour se débarrasser des insectes à la maison ; pour désherber les allées ou protéger les plantes du jardin. Ils servent également à débarrasser nos animaux de compagnie des parasites comme les puces ou les tiques. On les utilise pour se débarrasser des poux par exemple. Ainsi le terme « pesticides » recouvre une vaste gamme de produits et d'usages. Si l'agriculture consomme près de 90 à 95 % des pesticides commercialisés chaque année en France, le ministère en charge de l'environnement estime que les usages non-agricoles sont responsables de près de 40 % des pollutions des eaux de surfaces. En effet, utilisés sur des surfaces imperméables ou peu perméables, ils entraînent une pollution des eaux liée au ruissellement²⁸.

Il est nécessaire de distinguer les substances actives (molécules qui exercent l'effet recherché) et les préparations commerciales. Ces dernières sont des mélanges d'une ou plusieurs substance(s) active(s) et d'adjuvants (Cf. Encadré 2) divers destinés à assurer la stabilité et la conservation des produits, à faciliter leur emploi ou améliorer leur efficacité agronomique (environ 6 000 préparations en France)²⁹.

Les adjuvants

Encadré 2

Beaucoup de formulations commerciales contiennent des adjuvants et des substances inertes ajoutés à la ou les substances actives. Les adjuvants sont des molécules qui améliorent l'action des substances actives, alors que les substances inertes sont des colorants ou autres molécules chimiques qui n'affectent pas le nuisible ciblé.

Les adjuvants les plus communs sont des surfactants. 7 surfactants majeurs sont couramment employés dans les formulations commerciales et les plus connus sont :

- les alkylphénols éthoxylates (APEOs),
- les éthoxylates d'alcool (AEOs),
- les alkylamines éthoxylates (ANEOS).

Les ANEOs les plus largement utilisés sont les polyéthoxylènes tallowamines (POEA) qui facilitent la pénétration de la substance active à travers la cuticule de la plante.

Source:

Brausch, J.M.& Smith, P.N. (2007). Toxicity of Three Polyethoxylated Tallowamine Surfactant Formulations to Laboratory and Field Collected Fairy Shrimp, *Thamnocephalus platyurus*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 52, 217–221.

1. SI ON FAISAIT UN CLASSEMENT

Classiquement, les pesticides sont classés par grandes familles selon un double classement : par cibles ou familles d'usages et par grandes familles chimiques (Cf. Tableau 1).

Les insecticides

Ils sont destinés à la lutte contre les insectes. Ils interviennent en tuant ou en empêchant la reproduction des insectes. Ce sont souvent les plus toxiques, notamment l'arsenic, très utilisé avant la seconde guerre mondiale. C'est dans cette famille que l'on trouve la plupart des « polluants organiques persistants » -les POP- (Cf. Encadré5) notamment les organochlorés comme le fameux DDT, insecticide très puissant, très utilisé jusqu'à son interdiction et très persistant. Avec son métabolite principal, le DDE, il est transporté sur de longues distances, susceptible d'être volatilisé et emmagasiné dans les glaces polaires. On en trouve des traces dans les mammifères des zones Arctique et Antarctique. Un autre organochloré, insecticide puissant aux multiples usages (traitement des grandes cultures de maïs, betteraves, céréales, colza, lin..., des cultures maraichères, traitement foliaire en arboriculture, traitement des cultures ornementales et fourragères, protection des bois d'œuvre et traitements antiparasitaire animal et humain) -le lindane- a été abondamment utilisé, puis interdit depuis 1998^{1&30}.

Les fongicides

Ils sont destinés à éliminer les moisissures et parasites (champignons...). Le fongicide le plus ancien et le plus courant est le soufre et ses dérivés ainsi que le cuivre, le triazole et le benzène. La bouillie bordelaise par exemple, utilisé comme fongicide est un mélange d'eau, de sulfate de cuivre et de chaux. Parmi les plus persistants l'organochloré, hexachlorobenzène fait partie des polluants les plus ubiquistes^{1&30}.

Les herbicides

Ils sont destinés à lutter contre certains végétaux (les « mauvaises herbes » ou plantes adventices), qui entrent en concurrence avec les plantes à favoriser et à protéger en ralentissant leur croissance. Les herbicides sont de nature assez différente de celle des autres familles de pesticides (insecticides, fongicides ...). D'une part, leur action n'est pas d'intervenir contre un intrus, de nature différente (insecte/parasite), mais de lutter contre un autre végétal. D'autre part, leur mode d'épandage est particulier puisqu'ils sont déposés directement au sol, par opposition aux autres produits, plutôt pulvérisés sur la plante en croissance. Les herbicides les plus connus sont le glyphosate (Roundup®) qui inhibe la synthèse des acides aminés dans les plantes jugées « indésirables » pour les cultures, ou encore le 2.4D qui agit comme régulateur de croissance en altérant la division cellulaire dans la plante^{1&30}.

On peut citer aussi les rongicides utilisés contre les rongeurs, les corvicides contre les corbeaux, les molluscicides contre les limaces, les fumigènes pour désinfecter les sols, les nématocides contre les nématodes ... ^{1&30}.

Tableau 1 : Classification des pesticides

Source :

- D'après Ramade F. (2005). Elément d'écologie/écologie appliquée. 6ème édition. Paris, France : Dunod, 864 p.

- D'après Communiqué de la DRAAF-SRAL- Interdictions et restrictions d'emploi de certains produits phytopharmaceutiques,

http://draaf.languedoc-roussillon.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2011-08-04_retraits_cle85ec94.pdf

Fonction	Groupe chimique	Substance active	Année limite d'utilisation en France	Produit commercial	Propriétés
Insecticides	Insecticides d'origine naturelle	Origine végétale :			
		dérivés du pyrèthre	Autorisé		
		roténone	2011		
		nicotine	2010		
		Origine bactérienne :			
		Bti (Bacillus thuringiensis israelensis)	Autorisé		
		Origine minérale :			
		acide cyanhydrique	1986		
		sulfate de cuivre...	Autorisé	Bouillie bordelaise	
		Organochlorés	a-hexachlorocyclohexane (POP)	2009	
		b-hexachlorocyclohexane (POP)	2009		Temps de demi-vie qui excède souvent 10 ans dans les sols.
		Aldrine (POP)	1994		Toxicité à long terme.
		Chlordane (POP)	1992		La plupart mime les hormones sexuelles femelles (oestrogènes)
		Chlordécone (POP)	1993	Képone	La plupart interdits à partir des années 70 dans les pays industrialisés.
		DDT (POP)	1972		
		Dieldrine (POP)	1992		
		Endosulfan	2007		
		Endrine (POP)	1992		
		Heptachlore (POP)	2001		
		Hexachlorobenzène (POP)	1988		
		g- HCH ou Lindane (POP)	1998		
		Mirex (POP)	1990		
		Pentachlorophénol	2003		
		Toxaphène (POP)	1982		
	Organophosphorés	Fénithroton	2008		Composés neurotoxiques doués de propriétés anticholinestérase.
		Téméphos	2006 (2009 DOM-TOM)		Traitement des milieux aquatiques contre les moustiques
		Fenthion	2005		Facilement biodégradable - avicide aussi
	Malathion	2008		Très toxique pour faune aquatique - peu toxique pour les vertébrés	
	Mévinphos	2003			
	Parathion	2003		Toxique pour les vertébrés	
Carbamates	Aldicarbe	2007		Composés neurotoxiques doués de propriétés anticholinestérase.	
	Carbaryl	2008		Utilisés en grande cultures (betterave).	
	Carbofuran	2008			
	Méthomyl	2008			
Pyréthrinoïdes	Cyfluthrine	Autorisée	DECIS	Chimiquement analogues aux pyrèthrines (insecticides naturels d'origine végétale).	
	Cyperméthrine	Autorisée		Peu toxique pour les vertébrés à sang chaud mais très toxique pour les poissons et les vertébrés à sang froid.(CL 50 poissons 0,1 ppb)	
	Deltaméthrine	Autorisée			
Phénylpyrazoles	Fipronil	2005	Régent	Neurotoxique.	
				Menace pour les pollinisateurs.	
Néonicotinoïdes	Acetamipride	Autorisée		Actifs à faible doses.	
	Chlothianidine	Autorisée	Poncho	Neurotoxique.	
	Dinotéfurane	Jamais autorisé		Menace pour les pollinisateurs.	
	Imidaclopride	2004	Gaucho, Confidor		
	Nitenpyram	Jamais autorisé	Capstar		
	Thiaclopride	Autorisé			
	Thiamétoxame	restriction en cours	Cruiser		
Herbicides	Organochloré	Métolachlore	2003		Inhibiteur de croissance.
		Alachlore	2008	Lasso	
	Dérivés de l'acide phénoxyacétique	2,4 D	Autorisé		Toxique pour abeilles et coccinelles.
		MCPA	Autorisé		
	Urée-substitués (suffixe «uron»)	Diuron	2008		Très soluble dans l'eau et persistant.
		Chlortoluron	Autorisé		Très toxiques pour les algues phytoplanctoniques à des concentrations inférieures au ppb et les poissons.
		Linuron	Autorisé		
		Monuron	1994		
	Triazines ou organo-azotés (suffixe«zine»)	Atrazine	2003	Lasso	Très soluble dans l'eau et persistant.
		Prométryne			Très utilisés en grande cultures (maïs).
		Simazine	2003		Grande solubilité et faiblement biodégradable.
		Terbuthylazine	2003		Cancérigène.
	Acides amino-phosphatidiques	Glyphosate	Autorisé	Round-up	Rapidement dégradé dans le sol
					Agit par contact foliaire
					Création d'OGMs avec gène de résistance à cet herbicide
	Pyridines	Paraquat	2007		
Fongicides	Fongicides naturels	Arsenite de soude	2001		
	Dérivés du benzène	Hexachlorobenzène(POP)	2001		
		Pentachlorobenzène(POP)	2001		
	Phénylamides	Oxadixyl	2003		
Rodenticides	Organobromés	Bromadiolone	2011		Anticoagulants.
		Chlorophacinone	2007		
		Difénacoum	Autorisé		
		Diféthialone	2004		
	Alcaloïdes	Strychnine	1982		Stimulant du système nerveux central.
Molluscicides		Métaldéhyde	2011	Antimilice, Ariotox,	Neurotoxique.
		Méthiocarbe	Autorisé	Limatox...	

2. UNE VIEILLE HISTOIRE

La protection des cultures est apparue il y a longtemps. Le soufre est utilisé en Grèce antique 1000 ans avant J.C., l'arsenic est recommandé dès le début de notre ère en tant qu'insecticide par Pline, naturaliste romain, et les aconits (*Aconitum sp*), de la famille des renonculacées, sont employées au Moyen Âge contre les rongeurs. Dès la fin du XVIe siècle, les propriétés insecticides de la roténone, extraite de plusieurs espèces végétales (le derris (*Derris elliptica*) originaire d'Asie du sud-est et les espèces du genre *Lonchocarpus* originaire d'Amazonie), étaient connues, comme le furent plus tard, vers la fin du XVIIe siècle, celles de la nicotine, extraite du tabac (*Nicotiana tabacum*)³¹.

Au XIXe siècle, l'utilisation plus généralisée des pesticides a suivi les progrès de la chimie minérale qui prend son essor et autorise la mise sur le marché de traitements fongicides à base de mercure ou de sulfate de cuivre, telle la bouillie bordelaise, un mélange de sulfate de cuivre et de chaux qui permet de lutter contre le mildiou (*Phytophthora infestans*, *Plasmopara viticola*...), champignon parasite de la vigne (*Vitis sp*) et de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*). Le pyrèthre, une poudre provenant de fleurs du genre *Chrysanthemum* est introduit comme insecticide à cette même époque³¹.

Avant, mais surtout après la seconde guerre mondiale, les pesticides profitent très largement du développement de la chimie organique avec l'apparition d'un grand nombre de composés organique de synthèse. Les recherches militaires avaient déjà perfectionné des gaz de combat (gaz sarin, gaz moutarde) qui sont efficaces contre les insectes ou des herbicides comme l'agent orange (le 2,4D) défoliant utilisé pendant la guerre du Viet Nam. Dans les années 50, des insecticides organochlorés comme le DDT ont été utilisés en grandes quantités en médecine préventive (pour détruire le moustique vecteur (*Anopheles sp*) du paludisme (*Plasmodium sp*)) et en agriculture (élimination du doryphore (*Leptinotarsa decemlineata*))²⁵. Les organophosphorés permirent de sauver de l'anéantissement les cultures de luzerne (*Medicago sativa*) menacées d'extinction aux USA par suite de l'introduction accidentelle d'un puceron (*Aphis sp*) dans la moitié occidentale du pays¹. D'autres molécules sont mises au point pour l'industrie du bois, pour les usages domestiques (aérosols tue-mouches), pour l'entretien des voies de circulation et 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. De 1945 à 1985, la consommation de pesticides a doublé tous les dix ans²⁵.

Si les pesticides ont constitué un grand progrès dans la maîtrise des ressources alimentaires et l'amélioration de la santé publique (lutte contre les insectes vecteurs de maladies), le revers de la médaille est apparu rapidement : des phénomènes de résistance chez les insectes, puis des troubles de la reproduction chez les oiseaux, des hécatombes d'organismes aquatiques non-cibles entre autre ont montré de façon spectaculaire les limites et les dangers de ces substances pour l'environnement. Il ne faut toutefois pas perdre de vue, que les pesticides ont constitué un énorme progrès pour l'agriculture en permettant l'augmentation des rendements à court et moyen terme et ont également permis d'éradiquer un grand nombre de maladies parasitaires très meurtrières, ou d'en limiter la propagation²⁵. En 2006, l'organisation mondiale de la santé (OMS) a d'ailleurs recommandé de nouveau l'usage de DDT dans les habitations pour lutter contre le paludisme en Afrique. « Les données scientifiques et programmatiques justifient sans conteste cette réévaluation », a déclaré le Dr. Anarfi Asamoah-Baah, sous-directeur général de l'OMS. « La pulvérisation d'insecticide à effet rémanent dans les maisons est utile pour réduire rapidement le nombre de personnes contaminées par les moustiques porteurs de la maladie. Elle s'est révélé d'un aussi bon rapport coût/efficacité que les autres mesures de prévention du paludisme et le DDT ne présente pas de risque pour la santé s'il est correctement utilisé. »³².

3. QUELQUES CHIFFRES

Dans l'ensemble des pays développés, la consommation (= tonnages vendus) de pesticides a diminué au cours des deux dernières décennies ou s'est stabilisé surtout par suite de mesures destinées à réduire les pollutions environnementales. Par rapport à 1985, la diminution était en 1995 supérieure à 15% aux USA, à 25% au Canada et en Hollande, à 50% en Norvège et excédait 60% en Suède. A la différence de la plupart des nations développées, comme hélas trop souvent en matière de protection environnementale, la France est allée à l'encontre de cette tendance. En effet, la consommation de pesticides a continué à croître dans notre pays au cours des années 1980¹. Depuis la fin des années 90, on constate, d'après les ressources officielles telles que l'UIPP, que les tonnages vendus sont en baisse (Cf. Figure 1). Cependant, l'efficacité des nouvelles molécules ne cesse de s'accroître et les substances agissant à très faibles doses (néonicotinoïdes par exemple) dont les effets sont moins connus, se substituent aux substances plus anciennes³³. De so côté, le plan de suivi écophyto 2018 a estimé une baisse de 4% des tonnages de 2008 à 2011 à partir de l'évaluation des quantités de substances actives vendues (QSA). Cependant, cela s'accompagne d'une hausse globale du NODU (usages agricoles et non agricoles, hors traitements de semences) de 2,6 %, essentiellement liée aux herbicide³⁴ (Cf. Encadré 3).

NODU

Encadré 3

Une batterie d'indicateurs de pression, relatifs aux usages des pesticides, a été définie pour évaluer l'efficacité des mesures décidées dans le cadre du plan écophyto 2018 qui vise la diminution de 50% de l'utilisation des pesticides d'ici 2018. Ce point sera détaillé plus précisément dans la partie relative à la réglementation. L'indicateur NODU, ou Nombre de Doses Unités, élaboré courant 2008, a été choisi comme indicateur central. C'est un indicateur « toutes cultures », calculé annuellement à partir des données de ventes transmises par les distributeurs secondaires dans le cadre de la déclaration au titre de la redevance pour pollutions diffuses.

Il est complété par l'indicateur QSA, Quantités de Substances Actives vendues. C'est un indicateur exprimé en kg de substances actives. Il est simple à comprendre et facile à calculer, mais il prend en compte des substances actives de doses efficaces différentes pouvant varier de plusieurs kilos par hectare à quelques grammes par hectare. En effet, le passage d'un produit standard à un produit concentré, par exemple, permet de diminuer les volumes. Pour autant, le nombre de doses utilisées sur un an reste le même. Le QSA ne permet donc pas d'appréhender les effets de substitution de substances actives (SA) par de nouvelles substances efficaces à plus faibles doses.

Pour s'affranchir de cette limite, le NODU rapporte la quantité de chaque substance active à une dose « unité » qui lui est propre et permet donc d'apprécier l'intensité du recours aux pesticides indépendamment d'éventuelles substitutions de substances actives (SA) par de nouvelles substances efficaces à plus faibles doses. Il permet ainsi une meilleure appréciation de l'évolution des pratiques agricoles.

NODU et QSA, indicateurs de pression globaux toutes cultures confondues, sont complétés par un suivi territorialisé par type de culture, grâce à l'indicateur de fréquence de traitement, l'IFT^a.

L'IFT évalue la pression phytosanitaire par l'usage des pesticides. Il se calcule par le nombre de doses utilisées par rapport aux doses homologuées ramené à l'hectare. L'IFT des systèmes est exprimé en pourcentage par rapport à une référence régionale^b.

Sources:

a-Note explicative NODU,

http://draaf.auvergne.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/note_explicative_sur_l_indicateur_nodu_cle84a354.pdf

b-FR CIVAM et WWF - Dossier de presse - Grandes cultures économes,

<http://www.wwf.fr/s-informer/actualites/reduire-de-50-l-usage-des-pesticides-en-grandes-cultures-des-aujourd-hui-c-est-possible-preuve-faite-par-le-programme-grandes-cultures-economes>

Avec presque 80 000 tonnes commercialisées en 2008 (Cf. Figure 1), la France est le quatrième consommateur mondial de pesticides et le premier utilisateur en Europe avec 90 à 95% des pesticides vendus à usage agricole¹⁴. 411 substances actives sont autorisées par l'Union Européenne et 307 ont une autorisation de mise sur le marché en France en 2012³⁵. Un nombre restreint de cultures (céréales à paille, maïs, colza et vigne) utilisent 80% des pesticides utilisés en France alors qu'elles n'occupent que 40% de la surface agricole utile (SAU)³⁶. Si l'on rapporte la consommation à la production, la France est au quatrième rang européen derrière le Portugal, les Pays-Bas et la Belgique¹⁴.

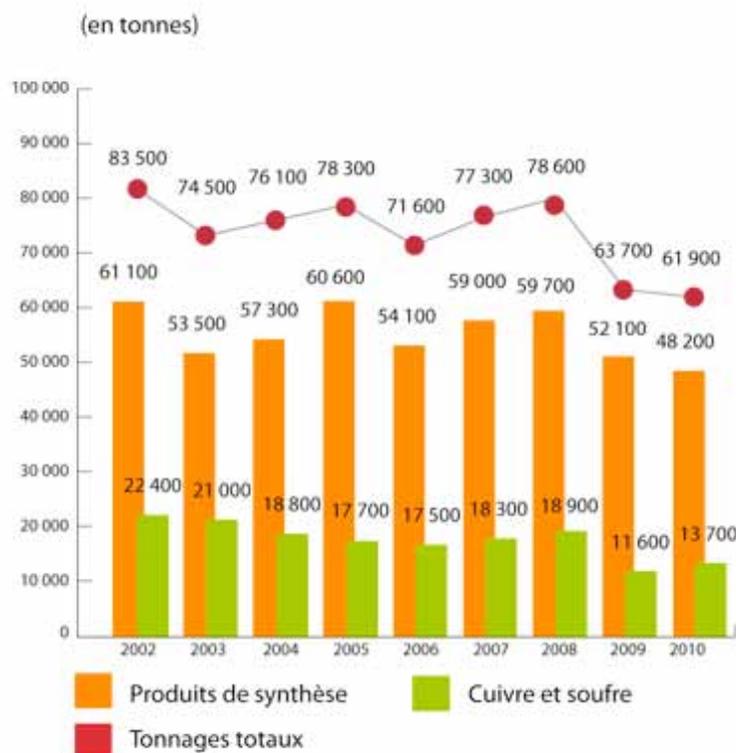


Figure 1 : Tonnage des substances actives vendues de 2002 à 2010 en France

Source : UIPP,

<http://www.uipp.org/Services-pro/Chiffres-cles>

4. DE PESTICIDE À MICROPOLLUANT : QUEL CHEMINEMENT ?

La « contamination » est la présence **anormale** de substances, de micro-organismes, d'objets... dans un compartiment de l'environnement. Pour tous les pesticides de synthèse, on peut donc parler formellement de contamination y compris pour les sols agricoles, même si la présence de pesticides y est attendue et volontaire. Le terme « pollution » désigne la présence au-delà d'un seuil de substances susceptibles de produire des effets néfastes à l'environnement. Le Dictionnaire raisonné de biologie (Morère et Pujol, 2003), définit une pollution comme une « altération que subit la biosphère, en particulier d'ordre chimique et physique, et qui engendre des déséquilibres de fonctionnement à tous les niveaux »².

Ponctuellement, la fabrication industrielle de pesticides représente une importante source de pollution des eaux continentales et marines, causée par le rejet de résidus de synthèse des usines implantées au bord des fleuves et des côtes. Une autre source majeure de contamination des eaux continentales et littorales résulte des innombrables pollutions diffuses liées à l'usage de pesticides sur d'immenses étendues de terres cultivées. A cela s'ajoute l'épandage massif d'insecticides effectués dans le cadre de campagne d'éradications d'insectes au-dessus de lacs, marécages ou étangs (démoustication) ou sur des zones forestières. Le traitement des cultures et des forêts fixe les pesticides dans les horizons superficiels des sols sur des particules qui sont ensuite entraînées dans les cours d'eau par l'érosion pluviale due au ruissellement ou s'infiltrent dans les nappes phréatiques¹.

Par ailleurs, lors de leur application par dérive, c'est-à-dire envol des molécules avant même que les produits n'atteignent le sol, par évaporation ou par envol à partir des sols, une fraction importante de substances actives est adsorbée par des particules solides entraînées par les courants atmosphériques. Même par temps calme, elles passent dans l'atmosphère¹. On estime, en effet, que 30 à 75% des quantités de pesticides épandues repartent rapidement dans l'atmosphère³⁷. Les pesticides sont distribués à une échelle globale sous forme sèche ou humide sur les végétaux, les sols et les milieux aquatiques. Les précipitations, surtout, les font retomber sur les terres émergées et les océans, où les courants marins achèvent de les répartir dans l'ensemble de l'hydrosphère. Cela explique entre autre la contamination des eaux continentales et marines de l'Arctique¹ (Cf. Encadré 4).

Le développement de la surveillance des milieux met en évidence l'ampleur de leur dispersion dans l'environnement : le sixième rapport de l'IFEN sur les pesticides dans les eaux pointe ainsi une contamination quasi-généralisée des eaux¹⁵, comme le confirme le rapport du WWF sur l'état des eaux en France (2011)¹⁷. Un certain nombre de réseaux de surveillance de la qualité de l'air en France ont commencé à réaliser des mesures de concentrations en pesticides dans l'atmosphère depuis le début des années 2000 pour les premiers (Rousseau et al., 2004). L'ensemble de ces travaux a révélé la présence de pesticides dans toutes les phases atmosphériques, qu'elles soient gazeuse, liquide ou particulaire dans les aérosols, les gouttelettes de brouillard ou la pluie (Bedos et al., 2002)². Il n'existe pas de dispositif équivalent à ceux relatifs à l'eau et à l'air pour la caractérisation de la contamination des sols par les pesticides. La pollution chronique par certaines substances minérales (cuivre) et l'existence éventuelle de « résidus liés » pose la question du risque environnemental à long terme, notamment dans le cas d'une réallocation des terres agricoles à d'autres usages. Ce risque est illustré par le cas du chlordécone (Képone[®]), utilisé de 1972 à 1993 pour la lutte contre le charançon de la banane (*Cosmopolites sordidus*), en Guadeloupe et Martinique : resté stocké dans les sols, il pollue actuellement (et sans doute pour des décennies) les eaux et peut contaminer les productions dans certaines zones².

Outre les phénomènes physico-chimiques de diffusion des pesticides, les organismes facilitent considérablement la dispersion des substances toxiques dans l'environnement^a par bioamplification^c (Cf. Figure 2), phénomène qui sera détaillé dans la partie zones humides.

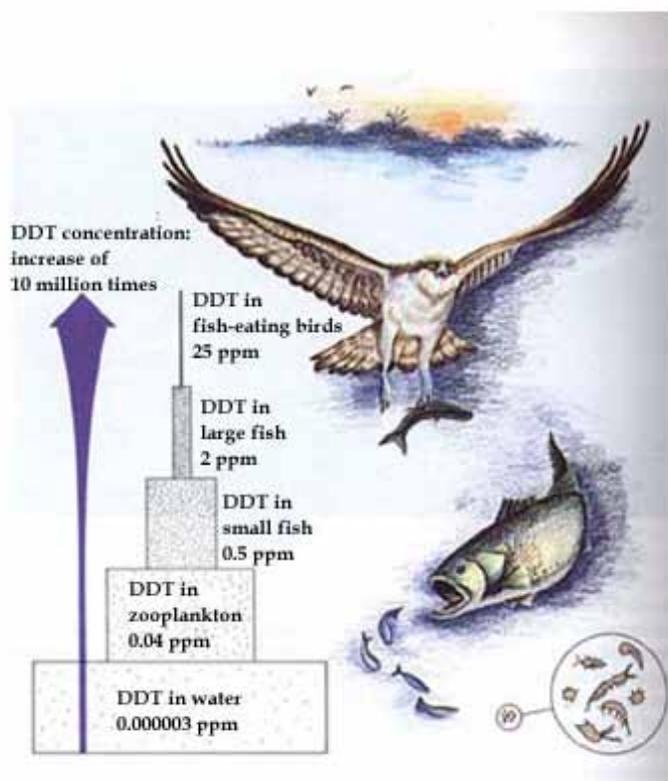


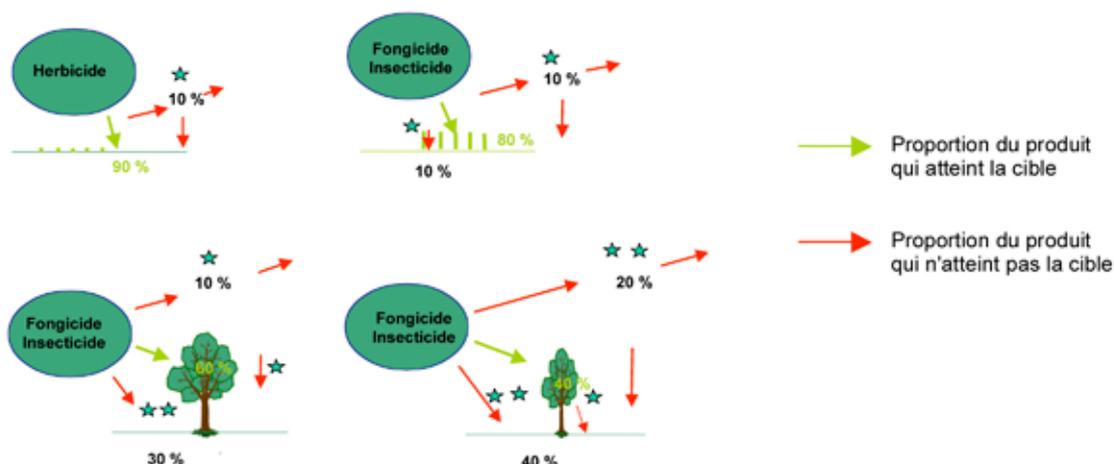
Figure 2 : Bioamplification du DDT le long d'un réseau trophique aquatique

Source : U.S. Fish and Wildlife Service, Environmental Contaminants Program,
<http://www.fws.gov/contaminants/Info/DDT.html>

C. Phénomène par lequel une substance, naturelle ou polluante, présente dans le biotope, connaît un accroissement de sa concentration au fur et à mesure qu'elle circule vers les maillons supérieurs d'un réseau trophique.

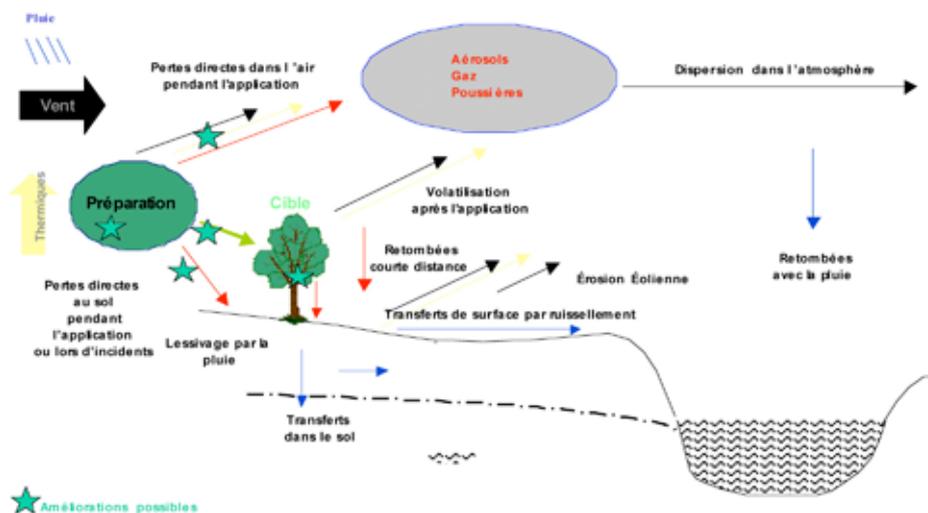
La dispersion des pesticides dans l'environnement

. Pertes lors de l'application



Lors de l'application, les pertes en direction des différents compartiments de l'environnement varient suivant l'état de développement des cultures, le réglage du pulvérisateur, la composition de la bouillie pulvérisée et les conditions météorologiques (les valeurs mentionnées dans la figure ci-dessus ne sont qu'indicatives). Les possibilités d'amélioration sont multiples, mais elles seront toujours difficiles à mettre en œuvre car leur résultat ne sera jamais facile à visualiser. Compte tenu de la géométrie de la végétation, et des difficultés de traitement qui en résultent, les gains seront plus importants en cultures pérennes qu'en cultures annuelles basses.

. Voies et mécanismes de dispersion dans l'environnement



Les mécanismes de dispersion sont très nombreux et dépendent principalement du couvert végétal, des caractéristiques du sol, du fonctionnement hydrologique, et donc des substrats géologiques et des conditions climatiques pendant et après l'application, et de la composition des produits épanchés. Alors qu'ils peuvent jouer un rôle important, les mécanismes de volatilisation sont encore peu connus car difficiles à mesurer. Ainsi, compte tenu de la grande variabilité des mesures de terrain, les approches par modélisation s'avèrent nécessaires pour quantifier correctement les niveaux d'exposition des différents compartiments de l'environnement.

Source :

Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., & Voltz, M. (éditeurs) (2005).

Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. INRA et Cemagref, France, 64 p.

5. QUE NOUS DIT LE LÉGISLATEUR ?

La communauté européenne a progressivement élaboré des législations visant à la protection de la santé des consommateurs et à la préservation de l'environnement, en interdisant l'usage de certains produits jugés trop dangereux (DDT, arsenite de soufre, atrazine, endosulfan) via sa législation propre ou grâce à des accords internationaux tels que la Convention de Stockholm de 2001 (Cf. Encadré 5). L'UE a aussi édicté des normes de contamination chimique minimale (potabilité de l'eau, résidus dans les produits alimentaires), des procédures d'autorisation d'utilisation des produits potentiellement dangereux et, plus récemment, des obligations concernant l'état écologique des milieux.

POP, une affaire internationale

Encadré 5

Certains pesticides appartiennent à la famille des POP (Polluants Organiques Persistants), c'est-à-dire qu'ils :

- se dégradent difficilement dans l'environnement ;
- s'accumulent dans les graisses des organismes et sont bioamplifiés (Cf. partie zones humides) le long des chaînes trophiques ;
- sont semi-volatiles ce qui leur permet de « voyager » sur de longues distances dans les courants atmosphériques et les courants marins et
- sont surtout la cause de nombreux effets négatifs sur la santé des êtres humains et d'autres organismes vivants^a.

Convention de Stockholm (2001) :

- accord international visant l'interdiction d'usage de certains produits chimiques jugés dangereux pour la santé humaine et l'environnement ;
- ratifiée par 151 états ;
- administré par le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) ;
- a permis l'arrêt définitif de la fabrication et l'élimination des stocks de 12 POP dont 9 pesticides : aldrine, chlordane, endrine, DDT, dieldrine, heptachlore, hexachlorobenzène (HCB), mirex et toxaphène -> plus utilisés dans les pays industrialisés depuis plus de 30 ans et
- mise en place d'une procédure permettant l'ajout de nouvelles substances dangereuses à la liste initiale, même en l'absence de « certitude scientifique absolue »^b.

En mai 2009, la dernière Conférence des Parties (COP) a ajouté 9 nouveaux POP à la liste dont 5 pesticides (chlordécone, alpha-hexochlorocyclohexane, beta-hexachlorocyclohexane, lindane et pentachlorobenzène). Il faut toutefois préciser que certains états gros consommateurs de pesticides comme la Chine n'ont pas ratifié cette convention^c.

Source :

a- Veillerette, F. (2002). Pesticides. Le piège se referme. Mens, France : Terre Vivante, 160 p.

b- Convention de Stockholm,

<http://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/tabid/252/Default.aspx>

c- France diplomatie,

<http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/enjeux-internationaux/environnement-et-developpement/produits-chimiques/article/la-convention-de-stockholm>

a. Qu'en est-il actuellement ?

L'utilisation de pesticides, destinés surtout aux usages agricoles, est régie par la Politique Agricole Commune et le règlement REACH.

La politique agricole commune (PAC) est la plus ancienne et la plus importante des politiques de l'UE. Elle fut créée par le traité de Rome en 1957 et mise en place en 1962 afin de permettre le développement de l'agriculture dans un contexte de nécessité alimentaire d'une France en reconstruction après la seconde guerre mondiale. Ses objectifs de base sont d'accroître la productivité de l'agriculture, d'assurer un niveau de vie équitable à la population agricole, de stabiliser les marchés, de garantir la sécurité des approvisionnements et d'assurer des prix raisonnables aux consommateurs. Depuis, s'y sont ajoutés les principes de respect de l'environnement et de développement rural³⁸.

REACH (Registration, Evaluation and Authorization of CHemicals) est un règlement entré en vigueur le 1er juin 2007 qui a permis d'harmoniser la réglementation existante en mettant sur un pied d'égalité substances anciennes et nouvelles. Il a instauré un système intégré unique d'enregistrement, d'évaluation et d'autorisation des substances chimiques produites en grandes quantités (≥ 1 tonne). Ce système est géré par l'Agence Européenne des Produits Chimiques, établie à Helsinki. L'objectif général de ce règlement est d'assurer la protection de la santé publique et de l'environnement tout en préservant la compétitivité de l'industrie chimique européenne (notamment en stimulant l'innovation par le développement et l'emploi de substances moins nocives tout en maintenant la confiance des consommateurs). Cet objectif général est accompagné d'objectifs particuliers, dont l'amélioration de la transparence (fourniture d'informations aux entreprises en aval, aux autorités publiques, à la société civile, aux consommateurs, aux travailleurs), l'organisation du marché intérieur, l'amélioration du bien-être animal (réduction des tests sur les animaux), la conformité avec les règlements de l'Organisation Mondiale du Commerce³⁹.

A cela s'ajoutent plusieurs directives européennes encadrant la mise sur le marché et le suivi post-homologation des produits phytosanitaires et des substances actives qui les composent. On peut citer par exemple la directive [91/414/CEE](#) remplacée en 2009 par le règlement (CE) n° 1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, mise en application en 1993. Un système en deux étapes est en place, au sein duquel la Communauté européenne évalue les substances actives utilisées dans les produits phytopharmaceutiques ; l'autorisation de mise sur le marché (AMM) des produits commerciaux est, quant à elle, délivrée par les Etats membres sur la base d'une évaluation nationale²⁵. Il faut préciser que les industriels qui procèdent au développement des produits constituent le dossier de demande d'autorisation de mise sur le marché, à partir notamment des études et **essais qu'ils ont réalisé**⁴⁰. Cette directive n'encadre que les phytosanitaires. D'autres directives sont destinées à la mise sur le marché des biocides et les produits antiparasitaires à usages humain ou vétérinaire.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, fortement polluée par ces substances, deux directives interviennent : la directive 98/83/CE relative à la qualité de l'eau potable, fixant à 0,1 $\mu\text{g/l}$ la teneur en chaque pesticide, et 0,5 $\mu\text{g/l}$ en cumul de pesticides pour l'eau potable ; le dépassement de ces seuils oblige les pouvoirs publics à intervenir ^{25 & 41} et la directive cadre sur l'eau (2000/60/CE), adoptée en 2000, qui fait obligation aux Etats-membres d'atteindre en 2015 un « bon état » chimique et écologique de leurs « masses d'eau » superficielles, et un « bon état » chimique des masses d'eau souterraines⁴².

b. Le Grenelle, une avancée ?

En France, une volonté sociale et politique a été affichée en 2008, dans un large forum traçant les objectifs d'une politique environnementale du pays (« Grenelle de l'environnement »). L'objectif de réduire, **si possible**, l'utilisation des pesticides de moitié en 2018 a été décidé. Cette décision de réduction de l'utilisation des pesticides a émergé dans plusieurs pays européens, et en 2009, l'UE a adopté une directive (directive 2009/128/CE) qui demande à chacun des états membres d'élaborer un plan d'action en 2012 pour réduire la consommation de pesticide en agriculture⁴³. La France s'est engagée dans un processus de réduction de l'emploi de pesticides dans l'agriculture à travers la mise en place, en juin 2008, d'un plan de réduction des risques liés aux pesticides dont les principaux engagements sont :

la réduction de moitié, à l'horizon de 10 ans, **si possible**, de l'emploi de pesticides de synthèse (plan écophyto 2018) ; le passage en agriculture biologique, qui prône la limitation de l'usage des pesticides naturels et l'interdiction des pesticides de synthèses, à 6 % de la SAU (Surface Agricole Utile) en 2010, en visant 20 % en 2020.

De plus, plusieurs mesures ont déjà été prises, notamment l'interdiction d'utilisation de 30 produits jugés les plus toxiques, l'instauration d'une taxe sur les phytosanitaires, croissante avec leur niveau de toxicité et qui devrait augmenter au fil des années, et l'octroi de crédits d'impôt en faveur de l'agriculture biologique⁴⁴.

Plusieurs avancées semblent se profiler telle que la réforme de la PAC en 2013 avec potentiellement un renforcement futur de la conditionnalité environnementale des aides agricoles; la révision de la Directive relative à la procédure d'autorisation de mise sur le marché des produits ; la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau (DCE) qui nécessitera, pour respecter les objectifs de « bon état chimique » des masses d'eau, des actions dont certaines concerneront l'utilisation des pesticides, et enfin la réflexion actuelle sur la définition d'une Directive cadre sur les pesticides².

c. Des lacunes persistent

Malgré ces nettes avancées, des lacunes réglementaires persistent encore.

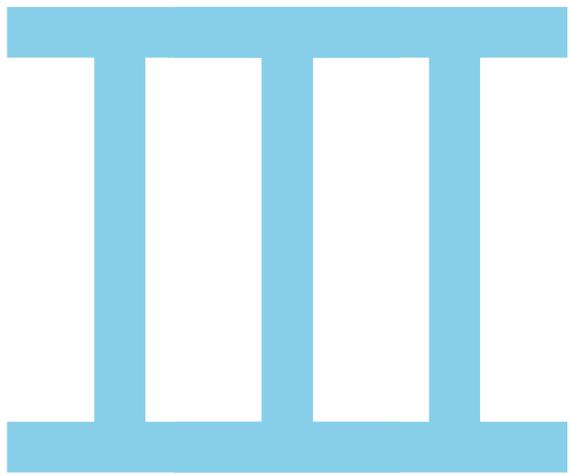
Jusqu'à présent, l'accent a été mis sur les conditions de stockage et manipulation des produits : la mise en place de la collecte et de l'élimination des EVPP (Emballages vides de produits phytosanitaires) et PPNU (Produits phytosanitaires non utilisés) ; la gestion des fonds de cuve, qui devront être dilués et épandus sur la parcelle traitée². Cependant, il est rare aujourd'hui que les protections adaptées à l'utilisation de ces produits soient livrées avec le produit. De plus, les recommandations d'utilisation des pesticides sont peu réalistes. Les agriculteurs portent rarement, lorsqu'ils traitent leurs champs, les combinaisons préconisées, peu confortables et peu pratiques.

D'après un rapport rendu public par deux ONG⁴⁵, The Pesticide Action Network (PAN Europe) et Génération future, en Europe des firmes phytosanitaires ont bénéficié jusqu'en 2012 du maintien sur le marché de dizaines de leurs pesticides, pourtant « retirés volontairement » en 2007 par les firmes elles-mêmes. Ces pesticides ont bénéficié d'une procédure spéciale de ré-homologation, dite de « re-soumission », malgré leur dangerosité ou les manques importants de données les concernant. La re-soumission a été mise au point en 2007 par le Comité Permanent de la Chaîne Alimentaire où siège des représentants d'Etats de la Commission Européenne. Elle accorde une seconde chance d'homologation à l'industrie pour des pesticides comportant pourtant des lacunes de données transmises ou présentant des dangers avérés et qui auraient dû être retirés. Pour pouvoir bénéficier de cette re-soumission d'un dossier d'homologation les firmes devront accepter le « retrait volontaire » de leur pesticide du marché. Ces substances officiellement retirées bénéficieront néanmoins d'une période de plusieurs années de libre accès au marché dite « période d'élimination progressive étendue » pendant le processus d'homologation jusqu'à fin 2012 et de la possibilité de présenter un mini dossier.



© ISTOCK PHOTO

Pulvérisation de pesticides en viticulture.



BIODIVERSITÉ, PREMIÈRE VICTIME DES PESTICIDES

L'impact des pesticides sur les êtres vivants se manifeste par :

- **des effets directs** qui correspondent aux manifestations de la toxicité d'une substance pour une espèce dite « sensible » et
- **des effets indirects** qui se produisent lorsqu'une espèce (ou un groupe d'espèces) est affectée par une substance alors que celle-ci n'est pas toxique pour l'espèce (ou le groupe d'espèces) en question. Il s'agit le plus souvent de la conséquence d'effets directs qui s'exercent sur d'autres organismes et qui se manifestent via la perturbation de processus écologiques tels que les relations proies-prédateurs ou les phénomènes de compétition.

L'interdiction progressive des molécules les plus toxiques a supprimé l'apparition de mortalités massives d'organismes non-cibles. Les effets directs qui subsistent sont moins visibles, le plus souvent non létaux, plus difficilement détectables, mais ils peuvent fragiliser les populations (moindres performances de reproduction, vulnérabilité accrue à la prédation...). Les effets des pesticides se manifestent parfois longtemps après l'exposition. Les effets directs des pesticides induisent des effets indirects, plus difficiles à détecter mais dont les conséquences sont souvent importantes. La modification de la disponibilité des ressources (trophiques ou autres) et des relations de compétition sont les principaux mécanismes d'occurrence et de propagation de ces effets indirects².

François Ramade¹ va plus loin dans ces distinctions en traitant d'une part des effets démo-écologiques et d'autre part des effets biocénotiques (Cf. Figure 3).

Les effets démo-écologique

C'est l'action directe d'un pesticide sur les populations d'une espèce pollusensible. Il s'agit :

soit d'effets directs qui découlent de la toxicité aiguë, dont les conséquences sont immédiates (mortalité d'une fraction de la population) ;

soit d'effets induits par la toxicité chronique (à long terme) due à l'exposition permanente à de faibles concentrations de pesticides. Ces effets sont dus à l'exposition directe de la population concernée. Ils peuvent être aussi indirects et différés dans le temps quand ils résultent de l'imprégnation des biotopes par des substances toxiques persistantes dans l'environnement, qui induisent des intoxications dites « secondaires » via la contamination des chaînes trophiques. Il en résulte une réduction du potentiel biotique c'est à dire une perte de

fécondité ou de fertilité des populations exposées, ou un ralentissement de la croissance, ou encore une perturbation de la métamorphose pour les invertébrés et les amphibiens.

Les effets biocénétiques

Il s'agit toujours d'effets indirects, souvent différés par rapport au moment du traitement ou résultant d'une exposition permanente due à une pollution diffuse. Ils ont toujours des **conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes**. Soit la natalité est affectée par une diminution directe de la fécondité intrinsèque (diminution de la production de gamètes, de pollen, décroissance du nombre d'œufs pondus ou du nombre de jeunes par portée dus à une réduction des ressources entre autres), soit par une diminution de la viabilité des œufs et des jeunes, ou par la combinaison des deux phénomènes.

Les effets sur les organismes sont connus dans leurs principes, mais difficiles à mettre en évidence sur le terrain, en raison de leur non-spécificité, de l'existence de mécanismes de régulation des populations à différentes échelles spatiales et temporelles (pour les oiseaux et les mammifères par exemple, il est très difficile d'appréhender le niveau des populations et celui des communautés d'espèces, du fait de la taille des territoires exploités et de leur temps de génération)². Les effets indirects présentent les conséquences écotoxicologiques les plus considérables car ils conduisent à une régression lente et insidieuse des populations exposées via des effets pernicieux et cumulatifs¹.

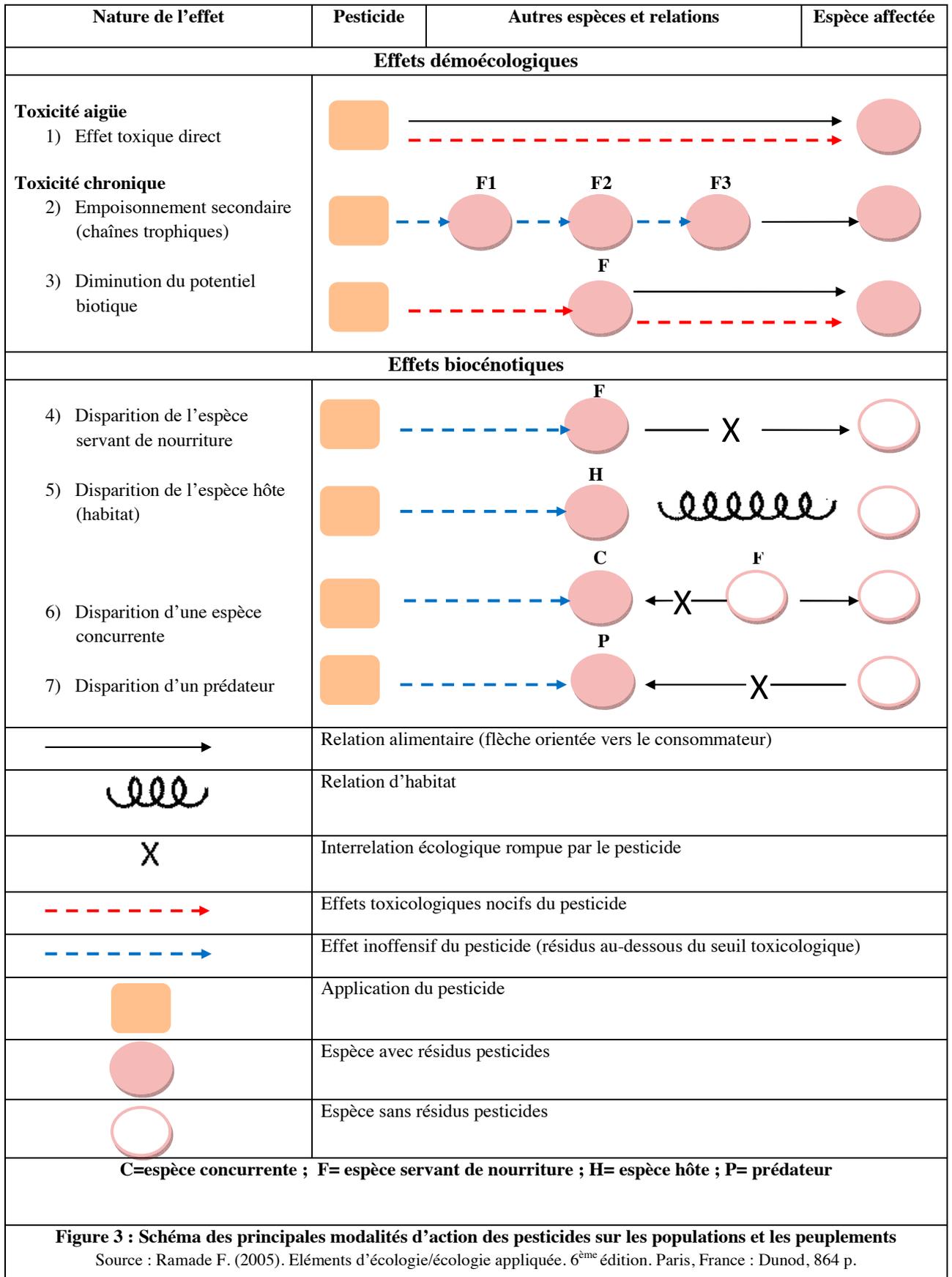


Figure 3 : Schéma des principales modalités d'action des pesticides sur les populations et les peuplements

Source : Ramade F. (2005). Eléments d'écologie/écologie appliquée. 6^{ème} édition. Paris, France : Dunod, 864 p.

1. LES AGROSYSTEMES : L'ARROSEUR ARROSÉ

Bien que les récentes préoccupations à propos de l'érosion de la biodiversité se focalisent principalement sur la disparition des espèces avec la transformation et la destruction d'habitats, de nombreux paysages transformés et gérés par l'homme tels que les terres agricoles présentent une diversité spécifique comparable à celle d'écosystèmes « naturels »^D, et en particulier comportent de nombreuses espèces en déclin⁴⁶. Ces espaces hébergent une part importante de biodiversité avec environ 50 % des espèces d'oiseaux européennes et 20-30% de la flore anglaise et allemande. Les terres agricoles forment les habitats les plus étendus pour les plantes et les animaux sauvages en Europe couvrant 43% de la surface de l'Union Européenne (60% en France, 75% en Grande Bretagne)⁴⁷. S'il est évident que la conservation de la biodiversité ne peut se faire sans protéger les habitats naturels subsistants, elle ne se fera pas non plus sans intervenir au niveau des espaces agricoles. Les paysages agricoles de nombreuses régions européennes existent depuis plus de 2000 ans et au cours du temps, beaucoup d'espèces sauvages se sont adaptées à ces paysages, avec pour résultat le développement de nombreux écosystèmes modifiés par l'homme et riches en espèces⁴⁶. En effet, l'agro-écosystème est par définition un produit de la modification de l'écosystème par l'homme et constitue un espace d'interaction entre l'homme, ses savoirs et ses pratiques et la diversité des ressources naturelles. L'agro-écosystème est donc une association dynamique comprenant les cultures, les pâturages, le bétail, d'autres espèces de flore et de faune, l'atmosphère, les sols et l'eau en interaction avec les usages qu'en font les hommes sur la base de leurs systèmes de valeurs et de traditions⁴⁸. La croissance démographique des populations humaines et l'occupation d'espace qui y est associée, ont causé la destruction de la plupart des habitats naturels européens. Certaines espèces ont ainsi perdu leur habitat initial et sont devenues presque entièrement dépendantes des espaces agricoles. Ces espaces sont donc particulièrement importants pour la conservation de la biodiversité⁴⁶. Ces territoires se trouvent actuellement menacés par l'intensification de l'agriculture de ces 50 dernières années qui a conduit à l'extinction régionale ou nationale de beaucoup d'espèces de plantes et d'animaux sauvages et a profondément changé le fonctionnement des agro-écosystèmes. Cette intensification de l'agriculture comprend la perte d'éléments du paysage, l'augmentation de la taille des fermes et des champs et les apports massifs de fertilisants et de pesticides⁴⁷. D'après Tilman (2001)⁴⁹, l'expansion globale de l'agriculture menace le maintien de la biodiversité à une échelle sans précédent qui rivalise avec le changement climatique. Selon certaines prédictions, l'augmentation de la population autour de 9 milliards pourrait engendrer la conversion de cent millions d'hectare d'habitats naturels en terres agricoles avec un doublement voir un triplement de l'utilisation des apports de nitrates et de phosphore, une demande en eau doublée et une utilisation de pesticides multipliés par trois.

a. La revanche des « mauvaises herbes »

Les herbicides ont un fort impact sur la diversité des biocénoses et plus particulièrement sur la composition des communautés végétales. En effet, l'usage des herbicides a induit une réduction importante du nombre d'espèces de plantes dans les parcelles cultivées mais aussi dans les espaces aménagés pour la commodité des usagers (bordures des voies de circulation, talus ...), avec une diminution du nombre d'espèces, mais aussi de la biomasse.

D'après la synthèse de Guillaume Fried et ses collaborateurs⁵⁰, les espèces adventices (« mauvaises herbes ») d'aujourd'hui sont issues de processus de sélection multiples, parfois différents, voire opposés d'une culture à une autre. Depuis la seconde guerre mondiale, le développement de nouvelles cultures associé au désherbage chimique et à l'augmentation de la fertilisation azotée a parfois contribué à renforcer la spécialisation des végétaux par culture, mais ont surtout banalisé la flore, sélectionnant les espèces généralistes les plus nitrophiles (consommatrices de nitrates) et compétitives au détriment des espèces spécialistes^E de milieux pauvres ou particuliers (sableux, humides ou calcaires). Globalement, les parcelles cultivées hébergent aujourd'hui moins d'espèces qu'il y a 30 ans et à une densité moyenne bien plus faible. L'intensification des pressions de sélection telles que la mécanisation du travail du sol et l'utilisation des herbicides de synthèse a abouti à une évolution des populations de mauvaises herbes parfois perceptibles sur des pas de temps très courts. Dès la fin du XIX^{ème} siècle, l'amélioration du tri des semences cultivées a entraîné la régression rapide d'espèces nuisibles telle

D. Peu transformés par l'Homme.

E. Adaptées à un milieu et à une gamme de conditions environnementales restreintes.

que la cuscute (*Cuscuta sp*), mais aussi des espèces très inféodées aux cultures. C'est par exemple le cas des espèces liées à la culture du lin (caméline du lin (*Camelina sativa*), gaillet bâtard (*Galium spurium*), ivraie du lin (*Lolium remotum*), moutarde des champs (*Sinapis arvensis*)) pour lesquelles la disparition progressive des champs de lin dans de nombreuses régions a fini par entraîner leur quasi-disparition dans ces régions. L'intensification de l'utilisation des fumures (fumiers) après la première guerre mondiale a entraîné le début de la régression de la flore la plus oligotrophe et nitrofuge c'est-à-dire nécessitant peu de nutriments et de nitrate (spergulaire des moissons (*Spergularia segetalis*), cotonnière de France (*Logfia gallica*...)) (Meerts, 1997). Les changements de flore ont été nettement plus sensibles après 1950 avec la généralisation du désherbage chimique et l'intensification du travail du sol. Dès 1960, les botanistes font état d'une forte régression des populations d'espèces messicoles : pied d'alouette (*Delphinium sp*), gagée des champs (*Gagea villosa*), nigelle des champs (*Nigella arvensis*), nielle des blés (*Agrostemma githago*) et jugent déjà la situation comme « grave ». Au cours de la même période, les malherbologues (spécialistes des mauvaises herbes) français notent la progression des graminées (vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides* Huds), jouet du vent (*Apera spica-venti*), folle avoine (*Avena fatua*)) non touchées par les premières molécules herbicides : 2,4-D, MCPA... et largement dispersées par les nouvelles moissonneuses batteuses. La mise en place depuis 2002 d'un observatoire de la flore adventice a permis d'aller plus loin dans ces analyses (Cf. Encadré 6).

Le réseau Biovigilance Flore

Encadré 6

Il s'agit d'un réseau de suivi annuel de la flore adventice en grandes cultures (1000 parcelles suivies actuellement) mis en place par le service de la protection des végétaux du ministère chargé de l'agriculture en 2002.

Objectifs :

- Détecter des évolutions de flore inattendues et, si possible, à en trouver les causes afin de pouvoir prendre des mesures correctrices. Par exemple, dans chaque parcelle, la flore est relevée et déterminée dans une zone témoin non désherbée (qui donne accès à la flore potentielle) et dans le reste de la parcelle soumis à l'ensemble des pratiques. Sur ce dispositif, c'est la biodiversité ordinaire c'est-à-dire celle des espèces les plus fréquentes au sein des principales cultures, qui sert de support à l'analyse.
- Distinguer les variations d'origine naturelle couvrant les particularités climatiques ou inhérentes au cycle biologique des espèces et les changements majeurs résultant d'une activité humaine.
- Améliorer les connaissances en écologie (notamment les relations entre la présence et l'abondance des espèces et les conditions du milieu) et sur la dynamique des espèces et des communautés adventices.
- Assurer un suivi de la qualité phytosanitaire du territoire (dans une optique de gestion des adventices).
- Veiller à l'état écologique de l'agro-écosystème (dans une optique de suivi de la biodiversité liée aux agrosystèmes).

Initiée au moment où les inquiétudes apparaissaient sur les conséquences de l'introduction de cultures OGM, le réseau de suivi de la flore adventice visait à fournir un état des lieux précis de la flore des cultures afin d'assurer une mesure objective de l'impact éventuel de ces nouvelles technologies sur la composition et la diversité des communautés adventices. L'évaluation est réalisée de manière directe avec par exemple une augmentation des repousses de cultures ou d'espèces apparentées aux cultures OGM mais aussi de manière indirecte en changeant d'autres éléments des systèmes de cultures incluant des cultures OGM. Ce réseau peut aussi contribuer au suivi post-homologation des produits phytosanitaires et garantir, dans le temps, la sécurité des autorisations de mise sur le marché (AMM). Enfin, le réseau Biovigilance Flore intègre également la surveillance d'espèces « exotiques » potentiellement envahissantes. Du fait de l'accroissement des échanges internationaux et du réchauffement climatique, le nombre d'introductions et de naturalisations de ces espèces risque de progresser.

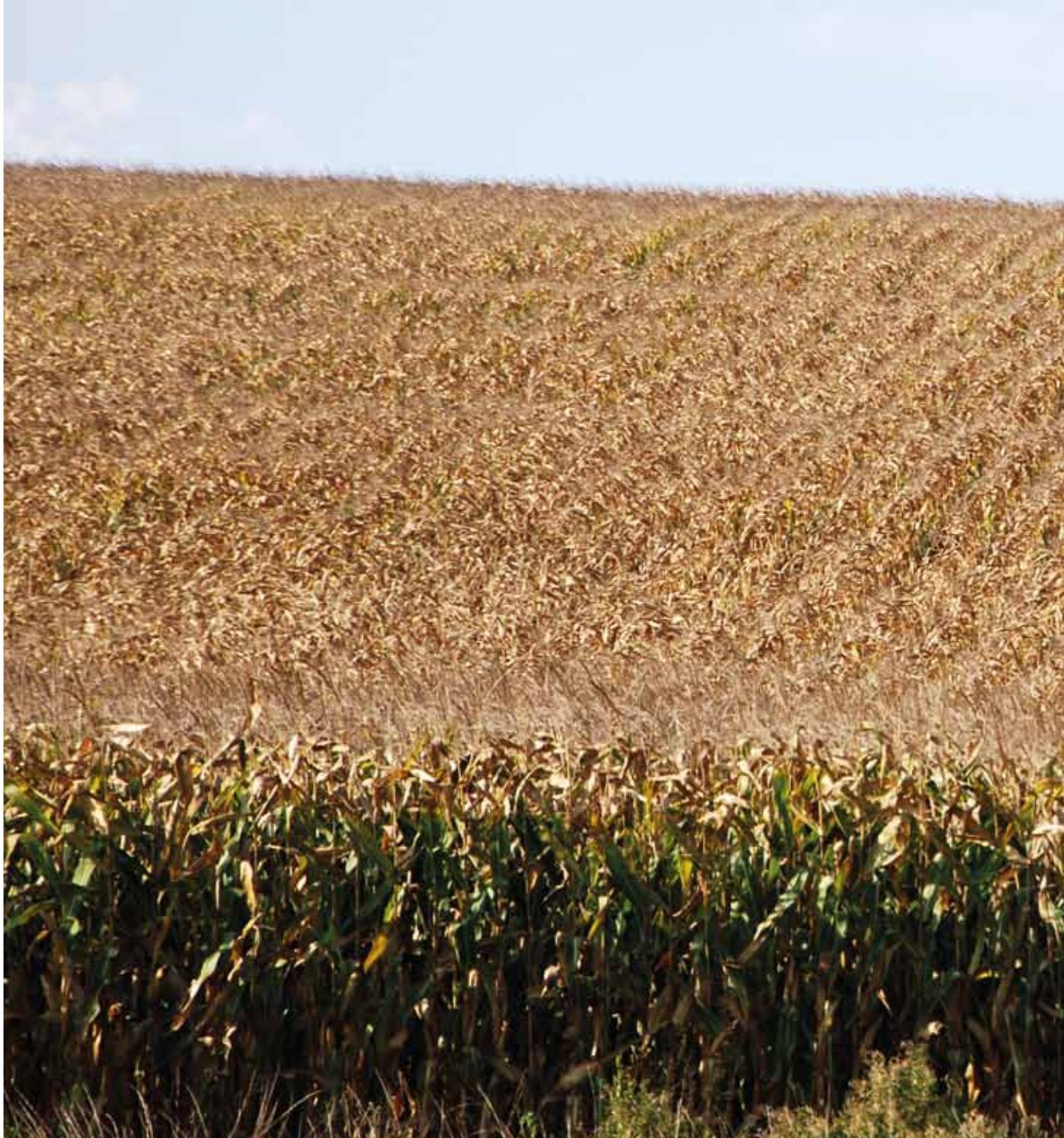
Source :

Fried, G., Renoud, X., Gasquez, J. & Delos, M. (2007). Le Réseau « BIOVIGILANCE FLORE » : Présentation du dispositif et synthèse des premiers résultats. AFPP. Vingtième Conférence du Columa – Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises.

PESTICIDES : FREIN À LA BIODIVERSITÉ !



L'intensification des pressions de sélection telles que la mécanisation du travail du sol et l'utilisation des herbicides de synthèse a renforcé la spécialisation des végétaux par culture, mais ont surtout banalisé la flore, sélectionnant les espèces généralistes et compétitives au détriment des espèces spécialistes. Globalement, les parcelles cultivées hébergent aujourd'hui moins d'espèces qu'il y a 30 ans et à une densité moyenne bien plus faible.

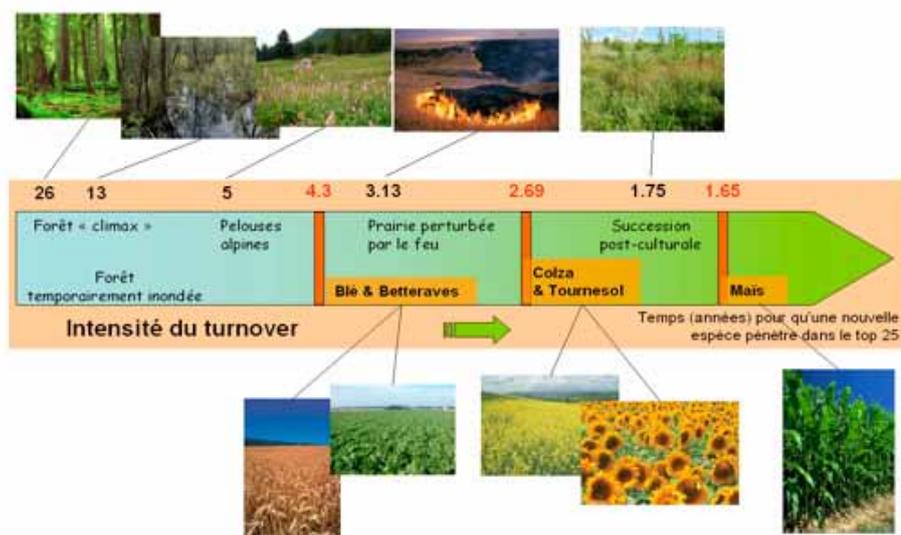




L'analyse statistique des parcelles suivies par le réseau Biovigilance Flore montre que le choix de l'agriculteur influence notablement plus sur la composition et la diversité des flores que les conditions naturelles (sol, climat) même lorsque l'on considère de larges échelles couvrant l'ensemble de la France où les gradients environnementaux sont considérables. Les changements ont été importants puisqu'ils touchent même des espèces communes dont les fréquences ont parfois varié de plus de 25%. Autrement dit, certaines espèces sont « apparues » ou ont disparu de manière concomitante dans plusieurs centaines voire milliers de champs cultivés. La comparaison de la flore de la culture du maïs entre 1973 et 2004 montre une modification de plus de 40% des espèces au sein de la liste des 25 espèces les plus communes. Les herbicides, et en particulier l'utilisation massive des triazines durant cette période, peuvent expliquer une partie de ces changements car les espèces les plus sensibles sont en net déclin (fumeterre officinale (*Fumaria officinalis*), radis sauvage (*Raphanus raphanistrum*), galinsoga (*Galinsoga sp.*), etc.) tandis qu'à l'inverse quelques espèces ont été sélectionnées sur leur capacité à tolérer ou à résister à cette famille d'herbicides (panics (*Panicum sp.*), liseron des haies (*Calystegia sepium*), morelle noire (*Solanum nigrum*)...). On peut constater que le maïs (*Zea mays*), est la culture la plus « instable » avec l'apparition d'une nouvelle espèce tous les 1,65 ans, ce qui est près de 16 fois plus rapide qu'une succession normale dans une forêt ancienne⁵⁰. Dans l'ensemble les changements de flore dans les cultures sont du même ordre d'intensité que ceux des milieux naturels très perturbés par l'homme (sous l'action du feu, par exemple), en plaçant l'écosystème à l'état initial de colonisation par les plantes pionnières¹ (Cf. Figure 4).

Figure 4 : Intensité du turn-over des 25 espèces les plus communes de différentes communautés perturbées ou non par l'homme. Les chiffres indiquent le temps nécessaire au remplacement d'une espèce parmi les 25 plus fréquentes.

Source :



Fried, G., Chauvel, B. & Reboud, X. (2008). Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies : vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovations Agronomiques*, 3,15-26.

Ironie du sort, outre la flore messicole, les intrants et les pesticides peuvent être néfastes pour les plantes qu'ils sont censés améliorer et protéger. Ces 20 dernières années, on a observé en premier lieu une diminution des rendements des cultures en réponse à une augmentation de l'application d'engrais. En effet, des modèles ont démontré que quand l'application d'engrais est trop importante les rendements diminuent. Et l'une des stratégies pour réduire la dépendance aux fertilisants est la production de cultures de légumineuses (soja (*Glycine max*), luzerne (*Medicago sativa*)) qui fixent l'azote atmosphérique grâce à la symbiose avec des bactéries rhizobiales fixatrices d'azote (transformation de l'azote en ammonium), en rotation avec des cultures de plantes non légumineuses. Cela permet des économies de 10 milliards de \$ par an dans le monde. Dans le midwest des Etats-Unis, les cultures de luzernes en rotation avec des cultures de maïs ont permis une économie de 50 à 90 millions de \$ par an. Au Brésil, le soja inoculé avec des bactéries rhizobiales permettent d'économiser 1,3 milliards de \$ par an sur les coûts de production. La symbiose plante-bactéries rhizobiales est initiée par un échange de molécules entre la plante et la bactérie. Chaque espèce de bactérie rhizobiale interagit avec une espèce particulière de plante hôte. Par exemple, la bactérie *Sinorhizobium meliloti* établit une symbiose avec la luzerne et pas avec les autres espèces

de légumineuses. De plus, le moment de la mise en place de la symbiose est primordial au bon développement de la plante. En effet, il a été démontré que si la symbiose se fait trop tard, un retard de croissance de la plante hôte est observé. En outre, plus la symbiose est effectuée précocement plus la plante sera compétitive par rapport à ses congénères. Assurément, une plante en croissance a besoin de grande quantité d'azote et cette demande est souvent supérieure à ce qui est disponible dans le sol. C'est pourquoi, les légumineuses sont grandement sollicitées car elles peuvent fixer 100 à 200 kg d'azote par hectare et par an. Cependant, ces 25 dernières années, le soja et autres légumineuses ont montré un affaiblissement de cette capacité fixatrice très probablement du fait de l'augmentation continue d'utilisation de pesticides. Plusieurs études ont démontré qu'une trentaine de pesticides ont la capacité d'altérer cette symbiose en perturbant les signaux de recrutement envoyé par la plante à la bactérie. Plus récemment, d'après Fox (2007)⁵¹, certains organochlorés peuvent inhiber le signal entre la luzerne et les bactéries ; par conséquent les rendements s'en trouvent diminués. En effet, le nombre de nodules (manifestation physique de la symbiose) est significativement réduit au niveau de plantes traitées avec différents pesticides et mise en présence de ces bactéries rhizobiales par rapport à celles non traitées. Outre les nodules, on observe aussi une diminution de l'activité de la nitrogénase, enzyme bactérienne qui permet la fixation de l'azote et une diminution du taux de germination, également impliquée dans la perte de rendement. Ceci est particulièrement remarquable en présence de pentachlorophénol, utilisé comme fongicide pour le traitement du bois et interdit depuis 2003 en France.

b. Ravageurs et auxiliaires, logés à la même enseigne

Les invertébrés terrestres constituent un groupe d'espèces très diversifié, extrêmement bien adaptés à leurs milieux et essentiels au bon fonctionnement de tous les écosystèmes. Certains participent au maintien de la structure des sols et améliorent grandement la qualité de ces milieux, certains participent au processus de décomposition qui conduit au recyclage des nutriments et certains permettent la pollinisation des plantes à fleurs. Beaucoup sont herbivores et ont un impact décisif sur la biomasse et la survie des plantes ; tandis que d'autres jouent un important rôle de régulation des populations animales, soit comme ravageurs, soit comme prédateurs. A leur tour, les invertébrés procurent une importante source de nourriture à de nombreux amphibiens et reptiles, aux oiseaux et à certains mammifères. Des invertébrés terrestres sont exposés directement aux pesticides, parce qu'ils vivent dans toutes sortes d'habitats faisant l'objet d'un traitement délibéré aux pesticides. D'autres invertébrés peuvent être touchés indirectement, soit par la disparition, soit par la réduction de leurs ressources alimentaires, qu'elles soient végétales, fongiques ou animales. Les insecticides sont conçus dans le but de tuer des insectes et, par conséquent, la plupart des invertébrés sont sensibles à ces substances chimiques. La sensibilité aux autres pesticides varie, mais certains herbicides et fongicides sont aussi directement et hautement toxiques pour ces organismes⁵². L'application des pesticides résulte donc en une perturbation des équilibres écologiques, consécutifs à la quasi-élimination des peuplements d'insectes auxiliaires prédateurs et parasites qui limitent les populations de ravageurs¹.

Les habitants du sol

Les sols constituent des écosystèmes à part entière et la biodiversité de ces écosystèmes est incomparable aussi bien en terme de richesse que de biomasse et beaucoup de fonctions assurées par la faune du sol (Cf. Encadré 7) sont cruciales pour la production agricole.

La Pédofaune

Encadré 7

La faune du sol (pédofaune) regroupe trois ensembles d'organismes vivants :

- les micro-organismes (microflore constituée des bactéries et champignons mycorrhiziens et la microfaune avec les protozoaires, nématodes, rotifères et tardigrades) impliqués dans le recyclage de la matière organique de faible poids moléculaire,
- la mésofaune (enchytréides, collemboles, acariens, protozoaires et diptères) qui vit dans le réseau de pores du sol. Outre des prédateurs, elle rassemble des organismes se nourrissant de champignons, de végétaux décomposés et de particules minérales ... et
- la macrofaune (gastéropodes, lombrics, arachnides, isopodes, myriapodes, diptères (larves), lépidoptères (larves) et coléoptères), qui vit entre les micro-agrégats du sol et se nourrit du sol, de la microflore et de la microfaune, des matières organiques solubles dans l'eau du sol et de la faune et de la flore à la surface du sol.

Source :

Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., & Voltz, M. (éditeurs) (2005). Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. INRA et Cemagref, France, 64 p.

La microflore (bactéries surtout) du sol représente une part majeure d'éléments essentiels à la vie, elle joue un rôle de premier ordre dans les cycles bio-géochimiques. En raison de leur petite taille, les bactéries ont un rapport surface/volume élevé ce qui signifie que leur interface de contact avec l'environnement extérieur est importante, elles sont donc plus susceptibles d'absorber des molécules plus ou moins néfastes pour leur activité telles que les pesticides. Une étude a démontré que l'activité microbienne dans le sol augmente immédiatement en présence de glyphosate (Roundup®), herbicide très fréquemment utilisé, à faible concentration. Mais elle diminue rapidement à concentration élevée. La réponse des bactéries du sol aux pesticides est également influencée par les caractéristiques physico-chimiques du sol et les pratiques agricoles. La biodisponibilité des pesticides dans le sol dépend, effectivement, des propriétés du sol, en particulier le taux de matière organique, et des propriétés physico-chimiques des pesticides (solubilité par exemple souvent accrue par les adjuvants). La toxicité des pesticides pour les microorganismes peut être réduite fortement si le sol contient de fortes quantités de matière organique ou d'amendement^F. Cela est en accord avec l'idée selon laquelle les taux de carbone organique dans un sol est un indicateur fiable de la biomasse bactérienne, indépendamment de la présence de contaminants dont les effets sur les micro-organismes sont plus prononcés dans des sols avec de faible quantité de matière organique. De récentes estimations suggèrent que la biodiversité est d'environ d'une centaine de phylotypes^G par gramme de sol non contaminé contenant en moyenne un millier de bactéries. La diversité bactérienne dans un sol contaminé peut être significativement moins importante que dans un sol non contaminé, du fait de la toxicité des polluants et/ou de la prédominance de bactéries pollurésistantes. Il existe différents modes de réponse des communautés microbiennes aux pesticides : tolérance, résistance ou mécanismes de dégradation⁵³. Les pesticides peuvent, par exemple, provoquer au sein des communautés microbiennes l'émergence de populations, notamment bactériennes, susceptibles de les dégrader, avec pour conséquences une augmentation des doses ou des fréquences d'application et donc des effets délétères sur la faune et la flore⁴⁶.

D'après l'expertise collective de l'INRA et du Cemagref de 2005² qui se base sur des études des comparaisons « système agricole biologique » sans application de pesticides versus « système agricole conventionnel » avec application de pesticides, l'abondance de la plupart des groupes d'invertébrés du sol serait réduite dans les cultures en système conventionnel. C'est le cas des nématodes ou vers ronds (*Nematoda*) dont les populations bactériophages seraient plus abondantes dans les systèmes biologiques, favorables au développement de la biomasse bactérienne, alors que dans les systèmes conventionnels, ce sont d'autres espèces de nématodes, se nourrissant plutôt de champignons, qui sont plus abondantes. Cette perte de biomasse a aussi été rapportée chez les annélides ou vers annelés (*Annelida*), dont les vers de terre (*Lumbricina sp*) font partie, avec même parfois un doublement des effectifs au niveau des sols des cultures non traitées. Cependant comme pour les micro-organismes, l'apport d'engrais organique expliquerait, au moins en partie, les résultats observés. Les annélides ont un rôle majeur dans la structuration du sol. Leur relative sensibilité aux pesticides a fortement contribué à faire de ces organismes le point d'entrée des études d'écotoxicité des pesticides. Les vers de terre ne possèdent pas de cuticule (enveloppe externe et rigide de la plupart des insectes), de ce fait ils absorbent facilement les molécules environnantes telles que celles provenant des pesticides à travers leur épiderme². De plus, leur régime détritivore les conduit à ingérer des masses considérables de litière ou de sol selon les cas (jusqu'à trois fois leur propre poids chaque jour) car ils se nourrissent des matières végétales mortes contenues dans les sols et présentent donc une grande aptitude à bioconcentrer les polluants persistants. Ils sont en outre pollurésistants à la plupart des matières actives des pesticides et de façon plus générale à un large spectre de polluants peu ou pas biodégradables. Ainsi, ces invertébrés peuvent incorporer des concentrations élevées de polluants très variés sans présenter de troubles métaboliques, mais il n'en est pas de même pour leur prédateurs¹. Christensen et Mather en 2004 ont tout de même mis en évidence des modifications de comportement chez les vers de terre sous l'effet de certains fongicides, dont les manifestations varient selon les espèces et le stade biologique. Un comportement d'évitement des parcelles traitées est observé et se traduit par une abondance variable des vers selon les profondeurs de sol. Les effets des herbicides sur les populations de vers sont controversés : Fox (1964), a observé un déclin au sein des populations présentes dans des parcelles traitées à l'atrazine, en raison d'un couvert végétal diminué. Inversement, les herbicides peuvent aussi influencer indirectement la répartition spatiale des vers, comme l'ont observé Edwards et Bohlen (1996), en générant une abondance accrue de matériel végétal mort à la surface du sol. Cela se traduit par une surabondance des populations de vers de terre en surface. Les populations de carabes (*Carabidae*) appartenant à l'ordre des coléoptères (*Coleoptera*), groupe le plus étudié

F. Tout apport de matière destinée à améliorer la qualité du sol.

G. Type de bactérie étant donné que les bactéries ne sont pas soumises à la classification linnéenne classique : espèce, genre, famille...

de macro-organismes arthropodes du sol, sont également réduites par les pesticides. Cependant, des résultats contradictoires ont été relevés entre divers taxons de coléoptères, voire même pour une même espèce d'une étude à l'autre. Ceci reflète la complexité du jeu des variables influant sur ces populations lors d'une analyse à l'échelle des pratiques agricoles. Cependant, une étude récente a permis de relier l'évolution des populations de coléoptère au Canada à l'utilisation de DDT sur une période de 40 ans (Cf. Encadré 8). Certains organismes tels que les collemboles (*Collembola*) ne semblent pas être affectés par ces substances chimiques pour qui peu de différences liées au système de culture ont été constatées. Des résultats contradictoires ont été relevés pour les populations d'araignées (*Araneae*): soit en système conventionnel, une homogénéité du nombre d'espèces et une augmentation d'espèces prédominantes pollurésistantes, soit à l'inverse un accroissement de l'abondance en système biologique. Les isopodes (*ordre Isopoda*) et myriapodes (*Myriapoda*) sont souvent considérés comme les organismes du sol les plus sensibles (avec les gastéropodes (*Gastropoda*)) aux altérations associées aux cultures et ils sont généralement rares dans les milieux agricoles. Ceci expliquerait l'absence d'information sur les impacts possibles des pesticides sur ces organismes sur le terrain. Enfin, une étude de Yeates et al. (1997) mentionne une abondance moindre de tardigrades^H (*Tardigrada*) en système agricole conventionnel², malgré l'extrême résistance de ces organismes.

Les coléoptères et le DDT

Encadré 8

Avec presque 10 000 espèces en France, et 350 000 à travers le monde, les coléoptères sont aujourd'hui le plus grand groupe d'insectes connu. Parmi eux on peut citer les scarabées (*Scarabaeoidea*), les dytiques (*Dysticidae*), les coccinelles (*Coccinellidae*)... . Présents dans tous les milieux (arides, aquatiques, forêts tropicales), certains sont phytophages : ils se nourrissent de végétaux (fleurs, fruits, racines, feuilles, bourgeons, graines, bois...), d'autres sont carnivores et se nourrissent d'insectes ou de cadavres d'animaux, d'autres sont xylophages et consomment du bois. Les coléoptères participent ainsi activement à la décomposition du bois mort, mais aussi à la pollinisation des fleurs. Ce sont également des proies idéales pour de nombreux animaux tels que les oiseaux^a.

Leur déclin en Ontario a été mis en évidence par des chercheurs canadiens grâce à l'analyse des déjections de martinets ramoneurs (*Chaetura pelagica*) de 1940 à nos jours. Pour la première fois, ils ont mis en évidence que le déclin des populations de coléoptères en Ontario depuis 1960 est fortement liée à l'utilisation de DDT à cette époque. Les chercheurs canadiens ont mis en évidence cela à partir de l'étude du régime alimentaire des martinets, oiseaux insectivores. Ils ont eu la chance de découvrir de véritables archives écologiques au pied d'une grande cheminée d'un des bâtiments de la Queen's University de Kingston. Désaffectée à partir de 1928, cette cheminée a été le dortoir d'une colonie de martinets ramoneurs jusqu'en 1992, où elle a été condamnée. Ces oiseaux ont la particularité de s'accrocher dans le conduit avec leurs pattes. Durant toute cette période, les déjections se sont donc accumulées sur plus de deux mètres d'épaisseur. À partir de cet amas de fientes, ils ont pu déterminer le régime alimentaire des martinets ainsi que les quantités de DDT contenus dans ses fientes de 1944 à 1992, période qui a vu l'arrivée de cet insecticide, son pic d'utilisation puis son interdiction dans les années 1970. Les analyses révèlent un changement radical dans le régime alimentaire des martinets. Les ressources en coléoptères diminuent avec l'apparition du DDT au profit des punaises, puis redeviennent plus abondantes après l'interdiction de l'insecticide en 1970. Mais ces ressources diminuent de nouveau dans les années 1980, le pesticide étant encore utilisé dans les pays du Sud. «Les pulvérisations de DDT ont décimé les coléoptères et complètement modifié la structure des populations d'insectes autour des années 1960», concluent les chercheurs^b.

Source :

a- Noe conservation,

<http://www.noiconservation.org/index2.php?rub=12&srub=65&ssrub=374&sssrub=401&goto=contenu>

b-Nocara, J.J. & al. (2012). Historical pesticide applications coincided with an altered diet of aerially foraging insectivorous chimney swifts. Proceeding B of the Royal Society

H. Ces organismes, communément appelés « ours d'eau », sont extrémophiles c'est-à-dire qu'ils peuvent survivre à des conditions extrêmes. Les tardigrades figurent parmi les animaux les plus robustes du règne vivant, capables de résister à des contraintes extrêmes intolérables pour toute autre forme de vie. Ils survivent à des températures comprises entre 150°C et - 272,8 C° entre autre et subsistent même après avoir passé plusieurs jours dans l'espace.

Abeilles et autres pollinisateurs

Les abeilles sont le groupe de pollinisateurs économiquement le plus important à travers le monde. En effet, 35% de la production agricole dépend des pollinisateurs, ce qui représente une valeur d'environ 153 milliards d'euros⁵⁴. En Europe, par exemple, 84 % des productions dépendent dans une certaine mesure des pollinisateurs. Les abeilles fournissent aussi des services de pollinisation auprès des plantes sauvages (80% de ces plantes dépendent de ces services). Le déclin des espèces pollinisatrices est potentiellement responsable du déclin de la diversité végétale⁵⁵. Une récente étude anglo-hollandaise montre, en effet, le déclin parallèle des populations de pollinisateurs et des plantes à pollen au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, sans préciser si ce sont les plantes ou les insectes qui disparaissent en premier⁵⁶. Les cultures maraîchères et fruitières dépendent largement des pollinisateurs et déjà, les Etats-Unis ont importé massivement des abeilles d'Australie pour assurer la fertilisation de leurs vergers. En Chine, dans la province du Sichuan, des producteurs en sont réduits à fertiliser les fleurs de poiriers à la main, les pollinisateurs et les plantes à pollens de la région ayant été détruits par une utilisation incontrôlée de produits chimiques⁵⁴. Plus particulièrement, le déclin de l'abeille domestique (*Apis mellifera*) dans différentes régions du globe est particulièrement préoccupant. L'abondance des pollinisateurs dépend de plusieurs facteurs dont des facteurs biotiques comme les pathogènes, les parasites, la disponibilité des ressources due à la fragmentation de l'habitat ou de sa perte et de facteurs abiotiques comme le changement climatique et les polluants. L'utilisation des pesticides contre les insectes ravageurs a certainement contribué à ce déclin. En effet, bien que les abeilles soient protégées par la législation relative aux traitements phytosanitaires, elles en subissent les effets collatéraux.

En outre, la découverte en date récente de nouvelles familles chimiques d'insecticides a conduit à l'utilisation de l'imidaclopride (Gaucho[®]), un dérivé nicotinique, et du fipronil, un phénylpyrazole, dans de grandes cultures telles que le tournesol. Ces insecticides néonicotinoïdes incluent aussi l'acétamipride, la clothianidine (Poncho[®]), le thiaméthoxame, le thiaclopride, le dinotefurane et le nitenpyrame (Capstar[®]). Ces molécules forment un important groupe de neurotoxines en agissant spécifiquement comme agonistes des récepteurs nicotiques de l'acétylcholine des insectes (nAChR)⁵⁵. Ces insecticides sont dits « systémiques » c'est-à-dire qu'ils pénètrent dans la sève, par un organe de la plante, le feuillage ou la graine. L'insecte s'intoxique en piquant la plante. On peut les utiliser pour imprégner des graines. Il existe actuellement diverses présomptions sur leur responsabilité létale dans les ruchers². Une synthèse récente réalisée par Blacquièrre (2012)⁵⁵, résume 15 ans de recherche sur les dangers des néonicotinoïdes sur les abeilles domestiques, les bourdons et les abeilles solitaires. Malgré une faible toxicité aiguë pour les abeilles, les néonicotinoïdes sont des agents neurotoxiques qui affectent la mobilité des abeilles en induisant des symptômes comme des pertes d'équilibre (renversement), des tremblements, une hyperactivité. Ils affectent aussi le réflexe d'extension du proboscis. Les abeilles sont dotées, en effet, d'un puissant système olfactif qui leur permet de communiquer dans la colonie et de localiser leurs sources de nourriture. Une fois une source de nectar ou de pollen identifiée, elles se souviennent de l'odeur florale associée pour leur prochain cycle de butinage. Une fois apprise, l'odeur déclenche un réflexe d'extension du proboscis, leur longue langue articulée. Leur mémoire peut être endommagée du fait de l'augmentation de l'activité de la cytochrome oxydase qui intervient dans l'activité mémorielle du cerveau de l'abeille. En effet, beaucoup de laboratoires ont décrit les effets létaux et sublétaux des néonicotinoïdes sur le succès reproducteur, le comportement de recherche de nourriture, l'apprentissage et les capacités mémorielles des abeilles. La toxicité est dépendante de la voie d'exposition, le contact avec la substance étant moins toxique que son ingestion. Effectivement, les abeilles consomment le pollen, le nectar et le fluide de guttation¹ des plantes. Et il a été mis en évidence que ces substances biologiques de la plante se trouvent contaminées par l'imidaclopride imprégnant l'enrobage de la graine. Le fluide de guttation par exemple présente des concentrations importantes de ce néonicotinoïde pendant 3 semaines après la germination. Peu d'effets ont été observés lors de tests en plein champ ou d'expertise de plein champ à des concentrations réalistes. Cependant, dans une étude parue le 29 mars 2012⁵⁷ dans la revue Science, l'équipe de scientifiques français de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) d'Avignon, de l'Association de coordination technique agricole (Acta) et du CNRS a mis en évidence « le rôle d'un insecticide dans le déclin des abeilles, non pas par toxicité directe mais en perturbant leur orientation et leur capacité à retrouver la ruche ».

1. Petites gouttelettes liquides limpides que l'on peut observer chez beaucoup d'espèces, soit sur les bordures des feuilles, soit uniquement à l'extrémité des feuilles. Il s'agit d'excrétion d'eau provenant de l'intérieur des feuilles. A ne pas confondre avec les gouttelettes de rosée qui se forment par condensation de la vapeur d'eau atmosphérique.

Pour réaliser leur étude, les chercheurs ont inséré des micropuces électroniques RFID de 3 milligrammes fixées sur le thorax de plus de 650 abeilles permettant de suivre leurs déplacements. Ils ont pu constater que la moitié des butineuses ne retournaient pas à la ruche, après ingestion d'une solution sucrée contenant des doses très faibles de thiaméthoxame. Il s'agit d'une substance active utilisée notamment pour l'enrobage des semences comme le Cruiser® du fabricant Syngenta préconisé sur le maïs et sur le colza, déjà accusé d'être à l'origine d'une surmortalité d'abeilles par les apiculteurs et les ONG environnementales. Cet insecticide agit sur les abeilles à des doses bien inférieures à la dose létale en interférant avec leur système cérébral de géolocalisation, affection potentiellement mortelle. « Lorsqu'elle est combinée à la mortalité naturelle, cette disparition liée à l'insecticide aboutit à une mortalité journalière de 25% à 50% chez les butineuses intoxiquées. Soit jusqu'à trois fois le taux normal (environ 15% des butineuses par jour) », précise l'étude. Une simulation montre que si la majorité des butineuses était contaminée chaque jour, l'effectif de la colonie pourrait chuter de moitié pendant le temps de la floraison – et jusqu'à 75 % dans les scénarii les plus pessimistes. Cette désorientation a donc « le potentiel de déstabiliser le développement normal de la colonie », ce qui peut en outre la rendre vulnérable aux autres facteurs de stress que sont les pathogènes ou les variations de la disponibilité des ressources florales naturelles. L'étude estime donc qu'une exposition des abeilles butineuses à un insecticide néonicotinoïde pourrait affecter à terme la survie de la colonie, même à des doses bien inférieures à celles qui conduisent à la mort des individus ».

Il est clair que les graines enrobées d'insecticides peuvent faire des ravages chez les abeilles; mais pas seulement quand les plantes fleurissent et que les abeilles se nourrissent de pollen, mais aussi au moment du semis. Lors de cette opération, des millions de microparticules sont en suspension dans l'atmosphère. Même si les quantités sont infinitésimales, cela suffit à contaminer les abeilles survolant le champ ou butinant à proximité. Cela a été mis en évidence par Tapparo et al. (2012)⁵⁸ qui ont testé l'effet de toutes les semences de maïs, dont celles enrobées avec le Cruiser® de Syngenta dont le retrait définitif de l'autorisation de mise sur le marché (AMM) n'a été annoncé que très récemment (1^{er} juin 2012). Les tests montrent que toutes les semences enrobées, quelle que soit la formulation ou la firme productrice, sont sujettes à un phénomène d'érosion à l'intérieur du semoir c'est-à-dire que des microparticules sont rejetées dans l'atmosphère même si le semoir est muni d'un réflecteur, dispositif justement destiné à atténuer ce phénomène. Ce dispositif est obligatoire en Europe depuis 2009 à la suite de la décimation de plus de 11 500 ruchers en Bavière par des semis de Poncho®, insecticide à base de clothianidine. L'équipe de Tapparo a relevé la présence de molécules insecticides sur les corps d'abeilles mortes ayant traversé le champ expérimental au moment du semis. Ils ont fait le même constat avec des abeilles en cages disposées à différentes distances du semoir.

Par ailleurs, les nombreuses espèces d'hyménoptères sauvages et de diptères au rôle indispensable car elles butinent de nombreuses plantes cultivées dont la pollinisation serait inexistante en leur absence, ne bénéficient d'aucune protection réglementaire. En conséquence, beaucoup d'entre elles, très sensibles aux pesticides, ont été raréfiées voire éliminées par leur usage. Tel est par exemple le cas des bourdons qui sont les principaux parfois même les uniques pollinisateurs de la plupart des légumineuses cultivées¹. Tous ces problèmes sont également mis en avant dans un rapport au titre évocateur : « Est-ce que les néonicotinoïdes tuent les abeilles ? » (« *Are neonicotinoides killing bees ?* ») publié par l'organisation The Xerces Society for invertebrate conservation en mars 2012⁵⁹. Enfin, un fait des plus marquants est la mise en place en mars 2011 d'une Task Force internationale, issue de l'IUCN (Cf. Encadré 9). Il s'agit d'une organisation temporaire créée dans le but de mettre en évidence l'ubiquité de ces effets à travers le monde et de proposer des solutions et alternatives notamment aux décideurs politiques.



Task Force on Systemic Pesticides



Co-Chairs: Dr. Maarten Bijleveld and Dr. Pierre Goeldin

Scientific coordinator: Dr. Jeroen P. van der Sluijs

The co-chairs of The Task Force on Systemic Pesticides are based in Switzerland. The Scientific coordinator is based in the Netherlands and affiliated with Utrecht University.

The task force consists of 27 members and a support group.

2011 Update

- Creation of the Task Force under the auspices of SSC and CEM in Bath, in March 2011 with the objectives to:
- Review and present the scientific evidence on the impact of neonicotinoid and other systemic pesticides on biodiversity and ecosystem services,
- Devise a better and more rigid risk management for government approval of new and existing pesticides,
- Explore and propose alternatives,
- Inform policymakers and the public about the ecological risks of systemic pesticides,
- Engage politicians and business leaders to change policies and inadequate risk assessments if scientific evidence requires such change.
- Support from the Triodos Foundation has enabled a modest start of the global review project that will lead to four scientific publications.

Success Stories

- Correlation demonstrated between neonics in surface water and decreased Diptera abundance in Netherlands.
- Soil and water samples taken in the major remaining breeding area of the Blacktailed Godwit in NL.
- IUCN President Dr. Ashok Khosla supported the statement *IUCN and the global problem related to the use of systemic pesticides*, leading to support from the Triodos Foundation.

Challenges

- Neonics rapidly became the most widely used and fastest growing insecticides world wide (>25% share).
- Highly persistent and unprecedentedly toxic to essential invertebrates (a.o. pollinators, earthworms).
- 80% of world's flowering plants needs pollinators.
- Strong industry lobby extends over scientific arena to keep neonics on market.

Future Goals

- Identifying financial support for the Task Force.
- A meta-analysis of scientific evidence of the impacts of the rapidly growing use of systemic pesticides on biodiversity and ecosystem services with a focus on pollinators and other non-target species.
- Publication of three related scientific journal articles.
- A worldwide information campaign and identification of alternative pest control for changing policies and preventing inadequate risk assessments in the future.



c. Un printemps toujours silencieux

Avec presque 10 000 espèces connues, les oiseaux constituent un groupe extrêmement diversifié dans le monde vivant et occupent presque tous les habitats de la terre. Leur taille va du minuscule colibri d'Hélène (*Mellisuga helenae*) d'Amérique centrale qui pèse à peine 2 g à l'autruche (*Struthio camelus*) d'Afrique qui pèse jusqu'à 130 kg. Les oiseaux occupent une place particulière dans de nombreuses cultures humaines et sont essentiels au maintien des équilibres écologiques en régulant les populations des proies qu'ils consomment (graines, insectes, rongeurs). Ainsi, face à l'intensification de l'agriculture et de l'industrie, leur avenir est une préoccupation largement partagée. Par conséquent, de nombreuses recherches ont été menées sur les effets des produits agrochimiques sur leurs populations. Elles ont mis en évidence que les oiseaux sont menacés, directement ou indirectement, lors de traitements avec des pesticides. Certains pesticides, les avicides (fenthion par exemple) sont destinés à tuer les espèces d'oiseaux nuisibles telles que les quéleas (*Quelea quelea*). Cependant, les opérations de traitements avec des pesticides de routine (pour les insectes nuisibles qui s'attaquent aux cultures, aux forêts et à la santé humaine) impactent également fortement des espèces d'oiseaux non cibles, y compris des oiseaux de proie. Le DDT, là où il est encore utilisé, présente un risque particulier. Les résidus de cet insecticide s'accumulent chez les oiseaux de proie et entraînent une diminution de l'épaisseur des coquilles d'œufs, ce qui se traduira par un échec de la reproduction et, à terme, par un déclin de la population⁵². Outre le DDT, les insecticides néonicotinoïdes, déjà cités précédemment, sont pointés du doigt par le livre du toxicologue hollandais Dr. Henk Tennekes, « *A disaster in the making* » (« Un désastre en cours »)⁶⁰ qui traite des causes de la mort des oiseaux et des abeilles dans toute l'Europe. Le Dr. Tennekes y montre que le recul considérable de nombreuses populations avicoles est lié à la décimation que les pesticides infligent aux insectes. Les populations de coléoptères, mouches (*Musca sp*), papillons et teignes (*Lepidoptera sp*), dont se nourrissent les oiseaux, ont reculé principalement en raison de l'emploi des néonicotinoïdes. L'imidaclopride passe pour l'insecticide le plus vendu dans le monde. La clothianidine avait provoqué en 2008 la mort à grande échelle des abeilles d'Allemagne du Sud. Le Dr. Tennekes exige une interdiction immédiate de ces traitements : « Les risques qu'entraînent des pesticides tels que l'imidaclopride et le thiaclopride sont énormément sous-estimés. Une catastrophe environnementale nous menace et la firme Bayer en est responsable. Il faut à mon avis interdire de toute urgence les néonicotinoïdes si l'on ne veut pas voir les abeilles et les oiseaux continuer à s'éteindre. ». Depuis les 10 dernières années environ, les oiseaux sont, assurément, plus couramment empoisonnés par les pesticides que les mammifères en France. Les oiseaux les plus souvent concernés sont les espèces gibier, comme les pigeons (*Columba livia domestica*), les canards colverts (*Anas platyrhynchos*) et les perdrix rouges (*Alectoris rufa*), de nombreux rapaces ; mais aussi d'autres nombreux oiseaux communs des milieux agricoles⁶¹. Il en va de même au niveau Européen. En effet, selon les données récoltées par BirdLife international et le Conseil européen pour le recensement des oiseaux, le déclin des populations d'oiseaux communs des milieux agricoles se poursuit : 300 millions d'oiseaux ont disparu des milieux agricoles depuis 1980. Or, les oiseaux sont l'un des meilleurs indicateurs disponibles pour mesurer la santé des écosystèmes, et ces nouvelles données montrent que les populations de nombreuses espèces sont à leur plus bas niveau depuis que ce suivi existe⁶².

Empoisonnement ou disette

En diminuant le nombre de graines et d'insectes, certains pesticides tarissent les réservoirs de nourriture des oiseaux spécifiques des espaces agricoles dont, pour certains, le déclin est avéré en Europe⁶³. Les données du British Trust for Ornithology indiquent que 24 espèces d'oiseaux sont en déclin au Royaume-Uni dans les zones agricoles (Fuller et al., 1995) et que dans les différents groupes d'oiseaux il existe des espèces déclinantes et des espèces en expansion. Cette régression est estimée à 50 à 80 % selon les espèces et elle est plus marquée chez les oiseaux granivores². Les pesticides sont responsables en partie de ces effets populationnels.

Les herbicides peuvent affecter les populations d'oiseaux en réduisant :

- pour les espèces granivores, la disponibilité des graines ;
- pour les insectivores, l'abondance des invertébrés par l'élimination de plantes nécessaires à leur alimentation ou à leur habitat ;
- pour les espèces nidicoles, le couvert végétal.

Les insecticides affectent principalement les populations d'oiseaux en réduisant la disponibilité d'arthropodes (insectes). La réduction de l'abondance et/ou de la disponibilité des insectes entraîne une diminution de la fréquence d'alimentation, un affaiblissement de la condition physique, un échec de la reproduction et donc un déclin de la population. Cependant, la consommation de proies contaminées peut être létale pour des oiseaux insectivores par empoisonnement aigu ou avoir des effets qui affecteront leur comportement ou le succès reproducteur⁵². En effet, les insecticides organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoides et les néonicotinoïdes sont des neurotoxiques capables de perturber le comportement des oiseaux. Les changements comportementaux ont un impact direct sur les populations du fait des altérations de la capacité reproductrice, de la stratégie alimentaire ou du comportement de fuite face aux prédateurs⁶⁴.

La diminution des ressources en nourriture des oiseaux inféodés aux milieux agricoles est une cause majeure de leur déclin. Ceci semble être le cas des populations de perdrix grises (*Perdix perdix*) à travers toute l'Europe. Elles ont fortement régressé à partir des années 50. La perdrix grise était un oiseau commun des zones agricoles en Europe, mais elle est actuellement considérée comme une espèce rare. La taille des populations a diminué de 20% en moyenne entre 1990 et 2000. Une grande attention a été portée au niveau international à cette espèce étant donné le fait qu'elle est une espèce gibier très appréciée des chasseurs. D'après la synthèse de Kuijper en 2009⁶³, il existe trois périodes distinctes d'état des populations de perdrix au Royaume-Uni :

- une population stable avant 1950 (40 couples/km²),
- une diminution nette des effectifs entre 1950 et 1970 (10 couples/km²) et
- un déclin persistant mais moins marqué après 1970 (5 couples/km²).

Il en va de même pour le reste de l'Europe avec un décalage de 10 ans pour chaque période (fort déclin entre 1960 et 1980).

En ce qui concerne l'état de la population avant les années 50, l'étude de Potts et Aebischer de 1995 présente les taux de survie des poussins pour la période 1903-1938 dans la région de Great Witchingham au Royaume-Uni. A partir de ces taux ils ont mis en évidence que les fluctuations annuelles de la survie des poussins expliquent plus de 50% des effectifs de populations estimés par baguage. Il semble donc que les fluctuations de survie des poussins, principalement déterminées par les conditions climatiques, est de loin le facteur le plus important expliquant la taille de population de perdrix. Avant 1950, le taux de survie des poussins de perdrix était de 51% et est descendu à 20% en quelques années seulement.

En effet, à partir des années 50, le déclin se caractérise par une nette diminution de la survie des poussins du fait de la réduction de leurs ressources (insectes), cibles majeures des pesticides ; mais aussi par la diminution de la survie à l'éclosion et de l'augmentation de la prédation. C'est à cette même époque que l'utilisation accrue des pesticides dans les cultures a débuté au Royaume-Uni et n'a cessé de s'intensifier les années suivantes. Dans les années 50, les herbicides étaient épanchés dans 15% des champs de céréales. Il a suffi de 10 ans pour qu'ils soient utilisés dans 70% des champs. Cinq ans plus tard en 1965, plus de 90% des champs étaient traités. La chute brutale de taille de population de perdrix coïncide donc avec l'augmentation d'utilisation de pesticides. Certes, de nombreuses perdrix ont été intoxiquées mais la diminution des ressources en nourriture des jeunes joue un rôle bien plus important que l'empoisonnement. Ces ressources, c'est-à-dire l'abondance d'insectes, ont fortement diminué du fait de l'impact direct des pesticides sur ces cibles mais aussi du fait de la réduction de la biodiversité végétale des cultures. Au début du 20^{ème} siècle, en moyenne 8 espèces de plantes par m² étaient recensées dans les cultures de céréales au Royaume-Uni jusqu'à atteindre seulement 3 espèces par m² à la fin des années 80. D'un côté cela a permis le développement de plantes très appréciées des perdrix adultes comme le mouron des oiseaux (*Polygonum aviculare*), le liseron noir (*Polygonum convolvulus*) et l'ortie (*Galeopsis tetrahit*). D'un autre côté, ils ont réduit l'abondance de plusieurs espèces d'insectes très appréciées des poussins comme les pucerons, certaines espèces de scarabées (*Trechus quadristriatus*, *Gastrophysa polygoni*) et les larves de tenthrèdes (*Dolerus spp*) qui étaient associées à des plantes quasiment disparues des cultures. L'abondance mais aussi la qualité nutritive des insectes est cruciale pour les poussins durant les 3 premières semaines après l'éclosion. Les poussins ayant eu un régime varié et abondant, composés de ces insectes auront une chance de survie accrue à l'âge de 6 semaines.

Le déclin des populations en liaison avec la diminution aussi bien en quantité qu'en qualité de leurs ressources a été mis en évidence aussi chez l'hirondelle de fenêtre (*Delichron urbicum*) en Camargue (Cf Encadré 10), plus grande zone humide d'Europe qui sera également pris en exemple dans la partie zones humides.



© RICHÉRIE / JULIEN VEQUE

Guifette nourrissant ses petits en Brennes.

La Camargue est un territoire renfermant une mosaïque d'écosystèmes naturels et modifiés par l'Homme, incluant des zones de riziculture, des marais halophiles et d'eau douce, des roselières, des étangs temporaires, des lagunes, des marais salants sur 145 000 ha^a.

Cette « région » est essentiellement constituée de zones humides d'une valeur écologique exceptionnelle, recélant une grande richesse d'espèces et de milieux qui font d'elle un joyau de la biodiversité européenne. Elle constitue un exemple remarquable de conciliation entre les activités humaines et le maintien d'une forte naturalité à travers un projet de territoire construit par un parc naturel régional et des réserves naturelles (Réserve nationale, réserve de Biosphère et réserve régionale)^b.

Cependant, la forte proportion de zones humides temporaires et semi-permanentes est particulièrement favorable à l'émergence de nombreuses espèces de moustiques qui peuvent s'avérer problématique pour les populations humaines environnantes. C'est pourquoi un établissement public, l'Entente Départementale pour la Démoustication (Alliance Inter-départementale pour le contrôle des moustiques ou EID), a été créée en 1965 pour contrôler les nuisances causées par les moustiques, considérés comme incompatibles avec le développement économique sur tout le territoire de la Camargue. Sur les 42 espèces de moustiques existantes en Camargue, plus de la moitié piquent l'Homme. Cependant, les opérations de démoustication visent 3 espèces principalement (*Ochlerotatus caspius*, *Oc. detritus* et *Aedes vexans*), qui ont la caractéristique de pondre leurs œufs dans le sol humide plutôt que dans l'eau. Ces œufs sont quiescent (pause dans le développement quand les conditions environnementales sont néfastes) et résistent à la dessiccation pendant une longue période jusqu'à que la pluie ou les opérations de gestion de l'eau déclenchent la reprise de leur développement, ce qui engendre l'émergence synchronisée des adultes^a.

Source :

a- Poulin, B., Lefebvre, G. & Paz, L. (2010). Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology*, 47, 884-889.

b- Libération : « Des moustiques et des hommes »,

<http://www.liberation.fr/sciences/01012377930-des-moustiques-et-des-hommesproduits-chimiques/article/la-convention-de-stockholm>

Pendant 5 ans (2006-2011), une campagne de démoustication a été menée à titre expérimental afin de réduire les nuisances occasionnées par les moustiques sur la population urbaine, péri-urbaine et touristique. Cette campagne s'effectue par épandage d'un agent biologique (le BTI, *Bacillus thuringiensis israelensis*) sur une surface de 6 500 hectares, comprenant des espaces naturels dédiés à la protection de la biodiversité⁶⁵. Le Bti est l'agent microbien le plus couramment utilisé pour la lutte anti-moustique à travers le monde et est considéré comme l'agent le plus sélectif et le moins toxique des agents de contrôle des moustiques. Poulin en 2010⁶⁶ a évalué les effets des pulvérisations de Bti sur les taux de recherche de nourriture et l'alimentation des poussins d'hirondelle de fenêtre (*Delichron urbicum*) par étude comparative de parcelles traitées et non traitées au Bti. Les investigations ont eu lieu avant les pulvérisations et durant les 3 années de traitement qui ont suivi. L'hirondelle de fenêtre est un oiseau migrateur insectivore aérien qui colonise les aires d'habitation humaine. Elle consomme des arthropodes dont les prédateurs des nématocères (sous-ordre de diptères incluant les moustiques et les moucheron) en vol à 450 m du nid. Leur succès reproducteur est largement influencé par l'abondance de nourriture et des conditions de recherche de nourriture. La sélection des proies dépend de leur taille, les grosses proies étant plus profitables énergétiquement.

D'après cette étude, il semble que le nombre de moustiques et leurs prédateurs (araignées et libellules) a fortement diminué au niveau des sites traités. Cette diminution coïncide avec la réduction de la taille des couvées d'hirondelles, qui est un bon indicateur de la santé des femelles, mais aussi avec un amoindrissement du taux de jeunes à l'envol et des jeunes qui arrivent à maturité sexuelle. Les odonates (libellules) et les aranéides (araignées) sont les proies favorites des nichées d'hirondelles et les prédateurs majeurs des nématocères (moustiques), cibles du Bti. Les jeunes oiseaux mais aussi les adultes sont touchés, puisque les femelles ayant effectué deux pontes survivent moins bien que celles ayant eu une seule couvée. Et plus le taux de mortalité des jeunes oiseaux est élevé plus les femelles effectueront une deuxième ponte pour compenser la première (Cf. Tableau 2).

	Sites non traités	Sites traités
Petites proies (hors moustiques)	-	+
Grosses proies (odonates et aranéides) et moustiques	+	-
Taux de recherche de nourriture	+	-
Condition physique	+	-
Taille des couvées (indicateur santé femelle)	+	-
Taux de jeunes à l'envol	+	-
Taux de recrutement	+	-

Tableau 2 : Résultats de l'étude de Poulin

Source :

Poulin, B., Lefebvre, G. & Paz, L. (2010). Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology*, 47, 884-889.

Toujours en Camargue, Tourenq en 2002⁶⁷ a comparé l'abondance d'oiseaux d'eau dans 46 cultures rizicoles en relation avec l'ancienneté des cultures et des pratiques culturales au printemps. Sur les 29 espèces recensées, la plupart sont des insectivores. En effet, les mouettes, les sternes et les oiseaux de rivages (Charadriiforme) représentent 73%, les hérons (Ciconiiformes) 6% et les canards (Anseriformes) moins de 15% du nombre d'individus total, des flamands roses (*Phoenicopterus ruber*) et des poules d'eau (*Galinula chloropus*) ont aussi été observés. D'après cette étude, le nombre d'oiseaux décroît avec l'âge des cultures rizicoles du fait de la potentielle diminution de leurs ressources alimentaires engendrée certainement par l'application de pesticides.

D'après l'expertise collective scientifique de l'INRA et du Cemagref de 2005, les études du British Trust for Ornithology constituent un apport significatif de plus puisque grâce à un suivi sur plusieurs années des populations d'oiseaux, des populations d'arthropodes de douze groupes les plus communément rencontrés et des pratiques agricoles, une relation claire a pu être établie entre la densité des oiseaux en Écosse et l'abondance des insectes, elles-mêmes liées à l'évolution des pratiques. De même, des suivis menés dans des exploitations au Danemark (31 exploitations conduites en système conventionnel et 31 exploitations conduites en système biologique) ont mis en évidence un déclin pour 15 des 35 espèces communes observées dans les exploitations en système conventionnel, et ce proportionnellement à la quantité de pesticides utilisés².

Rapaces

Les oiseaux de proie subissent indirectement l'effet des pesticides ; ils ne sont pas ciblés par ces substances. Cependant, ils sont contaminés du fait de leur régime alimentaire et par empoisonnement volontaire par des appâts toxiques. Les oiseaux consomment des rongeurs que l'on trouve dans les plaines agricoles, lesquels sont la cible des rodenticides.

Le milan royal (*Milvus milvus*), par exemple, est un rapace que l'on trouve exclusivement en Europe dont les populations sont déclinantes. Inscrite sur la liste rouge de l'UICN en raison de son endémisme européen, cette espèce est considérée, depuis cette date, comme quasi-menacée au niveau mondial. En France, elle figure désormais parmi les espèces vulnérables (liste rouge actualisée en 2008)⁶⁸. L'empoisonnement secondaire ou intentionnel par les pesticides est considéré comme l'une des principales menaces pesant sur le milan royal. En effet, le régime alimentaire du milan royal a été étudié par Coeurdassier en 2012⁶⁹ dans une région où l'anticoagulant bromadiolone est largement utilisé pour contrôler les rats taupiers (*Arvicola terrestris*). Les conclusions de cette étude suggèrent que le milan royal a un régime alimentaire très restreint, c'est-à-dire qu'il se nourrit exclusivement de rats taupiers étant donné que les restes de ces rongeurs ont été identifiés dans 94% des excréments de milans royaux et seulement 9 % de restes d'arthropodes et d'autres espèces de rongeurs ont été identifiés dans certaines déjections. En se basant sur ces résultats, il semble évident que le milan royal est fortement menacé d'empoisonnement secondaire en consommant les rats taupiers empoisonnés, ces derniers étant moins vivaces du fait de l'empoisonnement. Leur capture par les oiseaux de proie n'en est alors que facilitée. Certains milans royaux présentaient des doses 137 fois supérieures que la dose létale pour ces oiseaux.

D'autres espèces de rapaces sont également menacées. Dans une étude qui synthétise les données récoltées par le réseau SAGIR⁶⁸, des cas suspects d'empoisonnement ont été rapportés. Des animaux morts dont l'empoisonnement est suspecté et qui ont été retrouvés par les techniciens de l'ONCFS (Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage) et les fédérations locales de chasseurs, ont été envoyés au laboratoire de toxicologie de l'École Nationale Vétérinaire de Lyon. Entre 1992 à 2002, un empoisonnement a été suspecté, chez 62 milans, lequel a été confirmé dans 80% des cas. Durant la période d'étude, 4323 cas d'empoisonnement de la faune sauvage ont été soumis à enquête au laboratoire de toxicologie de Lyon, avec parmi eux, la buse variable (*Buteo buteo*) (314 cas), le milan royal (62 cas) et le milan noir (*Milvus migrans*) (40 cas). Les toxiques retrouvés sont des neurotoxiques (carbamates et insecticides organophosphorés) et des composés anticoagulants. Les circonstances de l'exposition découlent d'empoisonnements secondaires après l'utilisation d'anticoagulants sur de vastes étendues pour contrôler les populations de rats taupiers (*Arvicola terrestris*), de ragondins (*Myocastor coypu*) et de rats musqués (*Ondathra zibethicus*), mais elles incluent aussi des empoisonnements volontaires avec des insecticides carbamates (aldicarbe et carbofuran) dans des appâts toxiques.

Hôte des régions méditerranéennes, le vautour moine (*Aegypius monachus*) avait disparu de France, en particulier à la suite des persécutions dont il a fait l'objet. Après avoir figuré pendant environ un siècle au rang des espèces éteintes sur notre territoire, ce géant parmi les rapaces fait à nouveau partie de l'avifaune française, grâce à la réussite d'un programme de réintroduction mené dans les Grands Causses. A la suite des relâchers d'individus effectués depuis 1992, la première nidification en milieu naturel a eu lieu en 1996. Malgré la dynamique positive actuelle de ses populations, l'installation encore fragile et les faibles effectifs de l'espèce justifient son classement dans la catégorie « en danger critique » en France⁷⁰. Cette espèce demeure sensible à la perturbation des sites de reproduction, aux empoisonnements et aux électrocutions dues aux collisions avec les lignes électriques. Au plan mondial, les populations de cette espèce sont « en déclin », elles sont quasi-menacées, du fait en partie de l'empoisonnement intentionnel qu'elles ont subi⁷¹. On peut citer l'exemple de l'Espagne particulièrement touchée par ce phénomène. Une étude a recensé les incidents d'empoisonnement aux pesticides des vautours moines (*Aegypius monachus*) durant la période 1990–2006⁷². 464 vautours auraient été intoxiqués. D'après cette étude, l'empoisonnement accidentel représenterait 1,3% des cas et l'empoisonnement volontaire, 98%. Les adultes sont principalement touchés (83% des cas) et les conséquences au niveau populationnelles sont donc très préoccupantes. Le carbofuran, l'aldicarbe et la strychnine sont majoritairement responsables de cet empoisonnement. Ces pesticides sont extrêmement toxiques et interdits d'utilisation, notamment la strychnine.

d. Les mammifères, malades des pesticides

Mammifères sauvages

La raréfaction des ressources alimentaires et l'empoisonnement contribuent au déclin des populations de petits mammifères, à l'instar des oiseaux. Les petits mammifères (principalement les rats, les souris, les campagnols et les musaraignes) comptent plus de 1500 espèces (ordre des *Rodentia* et des *Insectivora*), et on dénombre plus de 1000 espèces de chauves-souris (ordre des *Chiroptera*). Leur abondance et leur dépendance vis-à-vis des plantes ou des insectes dont ils se nourrissent, en font des victimes des pulvérisations de pesticides et des sources potentielles d'empoisonnement secondaire pour leurs prédateurs (oiseaux ou autres mammifères). Les petits mammifères et les chauves-souris insectivores sont généralement plus exposés à une intoxication par proies contaminées. Les effets sublétaux sur leur état corporel et leur reproduction sont également plus visibles, car leur métabolisme plus élevé les force à ingérer chaque jour presque l'équivalent de leur propre poids en insectes⁵². Sur les 33 espèces de chauve-souris évaluées par l'UICN, sept figurent dans la catégorie « Quasi menacée », notamment en raison du déclin de leur population, et quatre autres sont menacées d'extinction. C'est le cas du minioptère de Schreibers (*Miniopterus schreibersii*), classé « Vulnérable », et du rhinolophe de Mehely (*Rhinolophus mehelyi*) « En danger critique »⁷⁰.

D'après la revue de Berny (2010) sur les données récoltées par le réseau SAGIR⁶¹, il apparaît que les mammifères en général représentent 43% des cas d'empoisonnement. Ce sont surtout les carnivores (39%), suivi des léporidés (*Leporidae*) (lièvres et lapins) à 35,4% qui sont le plus souvent contaminés. L'herbicide paraquat, interdit depuis 2007, est souvent mis en cause chez les lièvres alors qu'il a été très peu utilisé en France auparavant si ce n'est dans les bananeraies des Dom-Tom. On peut supposer alors qu'il doit certainement s'agir d'une utilisation non réglementaire par les particuliers. Enfin, les ongulés ne sont pas indemnes. Les neurotoxiques, incluant l'aldicarbe, le mevinphos mais surtout le carbofuran sont les pesticides majoritairement impliqués dans les empoisonnements après les anticoagulants rodenticides, premier agent toxique pour la faune sauvage. Le bromadiolone par exemple est particulièrement toxique pour les sangliers (*Sus scrofa*), les renards roux (*Vulpes vulpes*), les lièvres et les petits mustellidés (*Mustellidae*), comme le vison d'Europe (*Mustela lutreola*). La susceptibilité des ruminants pour les anticoagulants a été confirmée par des cas cliniques de toxicité du chevreuil (*Capreolus capreolus*) par le réseau SAGIR. En France, des empoisonnements de chauve-souris ont été rapportés comme celui du grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*), empoisonnés avec du pentachlorophénol (pesticide utilisé pour la préservation du bois). Enfin, les mammifères inféodés aux milieux aquatiques tels que la loutre d'Europe (*Lutra lutra*), dont le cas sera traité dans la partie zone humide, subissent également les effets de la bromadiolone.

Faune domestique

La faune domestique et notamment les animaux de compagnie et d'élevage sont également impactés. D'après les données du CNITV (Cf. Encadré 11), le chien est l'espèce la plus fréquemment contaminée suivi des chats, des bovins, des chevaux et des moutons. Les jeunes chiens semblent tout particulièrement touchés, notamment, dans la majorité des cas, les chiens âgés de moins de 1 an⁷³.

Centre National d'Informations Toxicologiques Vétérinaires Encadré 11

Le CNITV (Centre National d'Informations Toxicologiques Vétérinaires) est en charge de répondre 24/24h à toutes demandes téléphoniques ou écrites concernant les intoxications d'animaux domestiques. En fonction de la qualité du demandeur (vétérinaire praticien, particulier, organisme agricole...), le Centre apporte une aide au diagnostic et au traitement. Tous les cas cliniques sont traités, validés puis informatisés.

En 2010 :

-14 647 appels reçus

-Espèces concernées : chien 70%, chat 22%, bovin 2%, cheval 2%, lapin 1% et ovin-caprin 1%.

-Demandeurs : Vétérinaires 71% et particulier 28%.

-Catégories de toxiques : pesticides 29% des cas (dont 12% pour les raticides anticoagulants), médicaments humains 25%, polluants 18%, produits alimentaires 7% et envenimations 2%

Le laboratoire de toxicologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon est l'un des partenaires du CNITV. Le CNITV conseille, en effet, les interlocuteurs pour le choix des analyses toxicologiques à effectuer et les prélèvements adaptés, et peut fournir une aide à l'interprétation des résultats obtenus.

Source :

CNITV :

<http://www.vetagro-sup.fr/services/espace-entreprises/%C3%A9quipements-scientifiques/plateaux-techniques/cnitv>

Chez les animaux domestiques, les substances les plus fréquemment impliquées sont les pesticides. Par exemple en 2003, 3975 cas suspects d'intoxication chez les chiens et les chats ont été enregistrés par le laboratoire de toxicologie de Lyon, en liaison étroite avec le CNITV ; 992 ont été confirmés (33% pour les chats et 39% pour les chiens). Les pesticides impliqués sont des insecticides dans 46,9% des cas. Le carbofuran, l'aldicarbe et le mevinphos sont les molécules les plus souvent responsables, suivies par le méthomyl, utilisé à l'intérieur des habitations contre les insectes volants. Les rodenticides sont impliqués dans 24,3% des cas. L'empoisonnement avec des rodenticides est commun chez les animaux en France et de récentes données ont montré que les animaux sont très affectés par la disponibilité de ces composés. Les chevaux empoisonnés sont souvent suspectés de l'être avec des rodenticides mais cela est rarement confirmé. En 2003, 1074 cas d'empoisonnement suspects aux rodenticides anticoagulants ont été recensés chez les chiens et les chats, mais seulement 79 cas ont été confirmés. Le difénacoum, le diféthialone, le bromadiolone et le chlorophacinone sont les molécules les plus souvent responsables, mais toutes les substances actives commercialisées en France sont impliquées dans des cas d'empoisonnement. Jusqu'en 2000, la strychnine était encore utilisée (mais avec de fortes contraintes) contre les taupes (*Talpa europaea*) en France. Elle a été interdite, mais depuis des cas d'empoisonnement sont toujours enregistrés. L'intoxication à la strychnine est encore diagnostiquée dans les laboratoires de toxicologie (41 cas de chiens et 4 cas de chats en 2003). Les herbicides, impliqués dans 5,1% des cas sont souvent suspectés mais rarement confirmés. L'un des herbicides les plus couramment utilisés, le glyphosate, a un potentiel toxique minime pour les animaux, mais les adjuvants dans leur formulation commerciale, comme le polyoxyéthylène tallowamine peut être toxique (Cf. Encadré 2). Enfin, les fongicides expliquent 2,8% des cas. Les autres pesticides utilisés pour contrôler les ravageurs ou pour lutter contre les insectes dans les habitations (molluscicides et répulsifs, par exemple) sont impliqués dans 20,9%. Parmi les autres pesticides, les appâts à limace, et tout particulièrement le méthaldéhyde et le méthiocarbe sont les molécules les plus souvent

responsables des empoisonnements enregistrés par le CNTIV en 2003. Dans la même année, le métaldéhyde a été confirmé comme agent toxique dans 19 cas chez les chiens et 6 chez les chats, et le méthiocarbe dans 4 cas chez le chien. Il faut préciser que ces chiffres sont certainement sous-estimés car les propriétaires ne sont pas obligés de déclarer la cause de la mort de leur animal et que certaines nouvelles molécules ne sont pas forcément analysées dans les laboratoires⁷³.

En ce qui concerne les animaux d'élevage, des cas d'empoisonnement ont été observés durant la période 1998-2007, bien qu'en réalité ils soient rarement enregistrés dans les exploitations agricoles en France et en Belgique, car le diagnostic est prononcé après l'exclusion des autres causes de pathologie. Par ailleurs, l'empoisonnement des élevages est pris en compte seulement si des pertes économiques sont suffisantes pour justifier une enquête, comme en ce qui concerne les chèvres et les moutons, de plus faible valeur économique. De plus, de nombreuses espèces sont en stabulation, ce qui leur évite d'être exposées aux toxiques et par conséquent les cas d'empoisonnement sont rares. En France, les bovins sont les espèces les plus fréquemment exposées aux toxiques, soit 7% sur 70 000 cas enregistrés par le CNTIV de 1990 à 1998. Les moutons représentent seulement 1,4% et les chèvres moins de 1% des enregistrements. Les autres espèces en ferme sont rarement intoxiquées. En France, les insecticides et les graines enrobées sont prioritairement impliquées, suivi par les médicaments, les plantes et les désordres nutritionnels. En 2003, l'empoisonnement par les pesticides représente 33% des cas confirmés. Jusqu'en 1998, le lindane et l'endosulfan étaient les principaux agents toxiques pour le bétail (spécifiquement via les graines enrobées). Les appâts à limaces et à escargots, comme le métaldéhyde et le méthiocarbe, représentent aussi une source commune et persistante d'empoisonnement pour le bétail et les moutons⁷⁴.

2. LES ZONES HUMIDES : LA SOUPE CHIMIQUE

D'après la convention de RAMSAR (Cf. Encadré 12), les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes (marécages en Belgique et au nord de la France), de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres⁷⁵.

La Convention de Ramsar

Encadré 12

Traité intergouvernemental qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

Négocié tout au long des années 1960 par des pays et des organisations non gouvernementales préoccupés devant la perte et la dégradation croissantes des zones humides qui servent d'habitats aux oiseaux d'eau migrateurs, le traité a été adopté dans la ville iranienne de Ramsar, en 1971, et est entré en vigueur en 1975. La Convention est le seul traité mondial du domaine de l'environnement qui porte sur un écosystème particulier et les pays membres de la Convention couvrent toutes les régions géographiques de la planète.

Source :

Convention de Ramsar,

http://www.ramsar.org/cda/fr/ramsar-april12index/main/ramsar/1%5E25700_4000_1___

Les écosystèmes aquatiques sont typiquement des espaces menacés car ils sont affectés par une pléiade de facteurs perturbateurs comme la variation naturelle ou artificielle (barrages) des niveaux d'eau, l'altération des habitats et la contamination par les pollutions chimiques..., qui agissent de concert, et l'intensité de chacun de ces facteurs varie dans l'espace et dans le temps. De plus, les effets cumulés de ces multiples effets sont altérés par des interactions antagonistes ou synergiques parmi les différents facteurs et surtout entre facteurs naturels et d'origine anthropique⁷⁶.

Les pesticides, dont seulement une petite fraction restent sous leur forme originelle font partie de ces facteurs d'origines anthropiques. En d'autres termes, à moins que les composés soient rapidement dégradés, la plupart d'entre eux se transforment en d'autres formes appelées résidus ou métabolites et peuvent parfois être plus toxiques encore que leur molécule mère. Continuellement, de grands volumes de résidus de pesticides s'accumulent dans les eaux par l'intermédiaire de plusieurs mécanismes comme la dérive des pulvérisations, le ruissellement des pluies ou l'infiltration des sols ou encore par application directe (démoustication). Les pesticides et leurs résidus sont parmi les agents toxiques les plus dévastateurs pour les écosystèmes aquatiques et les organismes qui y vivent à tous les niveaux des réseaux trophiques. Les effets écologiques des pesticides sont variés et souvent complexes⁷⁷.

a. Les habitants trinquent

Les effets majeurs des pesticides sur les organismes aquatiques se traduisent par diverses pathologies pouvant être létales. Ils se déclinent sous divers symptômes : tumeurs et lésions des poissons et autres animaux aquatiques, inhibition de la reproduction, affaiblissement du système immunitaire, perturbation du système endocrinien, dommages cellulaires et moléculaires, effets tératogènes, état de santé médiocre des organismes. Ces effets ne sont pas nécessairement causés uniquement par les pesticides mais peuvent être associés à une combinaison de ces facteurs avec d'autres conditions de stress environnemental⁷⁷.

Effets physiologiques

Développement et reproduction

Tous les organismes aquatiques sont sujets à ces effets délétères et tout particulièrement ceux qui concernent leurs capacités reproductrices. Désherbant interdit depuis 2003 en France, l'atrazine et ses métabolites sont encore couramment détectés dans les eaux souterraines, les eaux de surface, les eaux de pluie et l'eau du robinet. L'atrazine est un herbicide de la famille des triazines utilisé essentiellement sur le maïs dont l'effet perturbateur endocrinien a été mis en évidence pour la première fois par Crain et al. en 1997 chez les amphibiens⁷⁸. (Cf. Encadré 13).

Les amphibiens

Encadré 12

Les amphibiens sont les organismes aquatiques les plus sévèrement atteints par les substances toxiques. En effet, un tiers des espèces d'amphibiens de la planète sont en danger d'extinction, ce qui fait d'eux le groupe taxonomique le plus menacé connu à ce jour^a. D'après une évaluation récente du déclin global des amphibiens, les pollutions chimiques représentent, après la destruction physique de leur habitat, la menace la plus sérieuse pour leurs populations^b, dont les causes sont l'agriculture intensive, la déforestation, le drainage des zones humides et le développement de zones anthropisées et/ou urbanisées^c.

Les amphibiens sont plus sensibles aux changements environnementaux que les oiseaux et les mammifères pour plusieurs raisons :

- la plupart des espèces d'amphibiens passent une partie de leur cycle de vie dans les milieux aquatiques et une partie dans les milieux terrestres : ces espèces font donc face aux altérations et contaminations de ces deux milieux ;
- la peau des amphibiens est hautement perméable et elle est impliquée physiologiquement dans les échanges de gaz, d'eau et d'électrolytes avec l'environnement ; c'est pourquoi les amphibiens sont hautement sensibles aux perturbateurs physicochimiques comme les radiations UV, les pathogènes, ou les substances chimiques et
- les amphibiens subissent une métamorphose au cours de laquelle est impliqué un grand nombre de processus hormonaux. Une altération de cette régulation par un facteur chimique à quel niveau que ce soit influe sur leur développement et leur comportement^b.

Source :

a- UICN :

http://www.iucn.org/fr/faisons/biodiversite/a_propos_de_la_biodiversite/

b- Brühl, C.A., Pieper, S. & Weber, B. (2011). Amphibian at risk? Susceptibility of terrestrial amphibian life stages to pesticides?. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 11, 2465–2472.

c- Mandrillon, A.L. & Saglio, P. (2005). Une revue des effets des pesticides sur la morphologie, le comportement et les traits d'histoire de vie des amphibiens. *Bulletin de la Société Héprétologique de France*, 116, 5-29.

L'atrazine agirait comme un inducteur d'une enzyme impliquée dans la synthèse d'hormones sexuelles femelles, en effet, les œstrogènes seraient surproduits par les organismes exposés. En 1998, Reeder et son équipe ont mis en évidence une relation entre l'atrazine et la présence de gonades intersexuées dans une population d'amphibiens sauvages. Plus récemment (2011), dans une revue bibliographique Hayes et son équipe⁷⁸ ont montré, en se basant sur les critères de Hill (Cf. Encadré 14) (critères permettant de mettre en évidence des relations de causes à effets), que l'atrazine agit comme perturbateur endocrinien démasculinisant^j en altérant les tissus reproducteurs mâles lors du développement chez les amphibiens et les reptiles, ainsi que chez les poissons téléostéens et les mammifères. Chez les amphibiens cet effet se manifeste aux concentrations environnementales. En plus des effets de la démasculinisation des gonades mâles décrits ci-dessus, l'atrazine féminise^k plus ou moins partiellement les gonades mâles des amphibiens et des reptiles, mais aussi des poissons téléostéens.

J. Démasculinisation des gonades mâles :

- réduction du volume testiculaire ;
- diminution de la production de sperme (car diminution des cellules germinales mâles) ;
- réduction de la production d'androgènes (car diminution des cellules de Sertoli).

K. Féminisation des gonades mâles :

- développement d'oocytes (cellules germinales qui produisent les ovules) au niveau des organes mâles (oocytes testiculaires) ou
- apparition d'ovaires chez les mâles entraînant une diminution de la fréquence de mâles au morphe « normal » dans la population.

Les critères de causalité de Hill

Encadré 14

Le statisticien britannique Bradford Hill a été conduit au début des années 1950 à établir un certain nombre de critères de causalité pour établir un lien entre le tabac et le cancer du poumon. Ces arguments ont fait date et sont considérés comme généralement valides pour établir scientifiquement un lien de cause à effet^a.

Il a établi 9 critères pouvant se combiner :

- **La force de l'association** entre l'exposition, son intensité et la maladie.

Il cite l'exemple des ramoneurs pour lesquels il existerait une forte association entre leur exposition à certains produits comme le goudron contenu dans la suie et l'apparition de cancer du scrotum (taux 200 fois supérieurs par rapports à d'autres types d'ouvriers). Un autre exemple est celui du taux d'apparition du cancer du poumon chez les fumeurs qui serait 10 fois supérieur à celui des non-fumeurs (20 à 30 fois supérieur chez les gros fumeurs).

- **La stabilité de l'association**, c'est-à-dire sa répétition dans le temps et l'espace.

Il se pose ici la question des observations similaires identifiées plusieurs fois, par différentes personnes, à différents endroits et à des périodes différentes. Il reprend son exemple du cancer du poumon en précisant que le Comité consultatif général de chirurgie du service de santé publique des Etats-Unis a mis en évidence l'association entre le tabagisme et le cancer du poumon grâce à 29 enquêtes rétrospectives et 7 prospectives.

- **La spécificité de l'association**, jusqu'à l'exclusivité du lien exposition-maladie.

- **La temporalité de la liaison**, c'est-à-dire que l'exposition doit précéder l'effet.

- **La plausibilité de l'action** en fonction des connaissances biologiques ou mécanistiques acquises.

Il se demande s'il existe une explication biologique ou mécanistique possible qui expliquerait les effets.

- **La cohérence de l'association** avec les connaissances générales déjà disponibles.

- **Les résultats expérimentaux** qui sont de nature à établir définitivement la causalité.

- **L'analogie**, par exemple entre des molécules de même famille.

- **L'existence d'un gradient biologique**, c'est-à-dire une relation dose effet.

Par exemple, le taux de mortalité d'un cancer du poumon est d'autant plus fort que le nombre de cigarettes consommées chaque jour est important^b.

Ce critère est actuellement remis en cause par de nombreux scientifiques, la relation dose-effet n'étant pas forcément linéaire, notamment pour les polluants perturbateurs endocriniens.

Henk Tennekes, par exemple, à partir de son livre « *The systemic insecticides, a disaster in the making* » s'appuyant sur les travaux du pharmacologiste Hermann Druckrey et du mathématicien Karl Küpfmüller dément fortement le concept de « l'innocuité des faibles doses » en démontrant que, dans certains cas (néonicotinoïdes), la durée elle-même d'exposition peut être un facteur compensant la faiblesse des doses reçues, voire amplifiant cette diminution des doses. Ainsi, si une dose forte peut entraîner un effet biologique dans un temps très court, une dose faible combinée à une durée d'exposition longue peut entraîner le même effet biologique (règle de Haber). Mais, si la durée amplifie l'effet nocif du toxique, alors lorsque la dose diminue et que la durée s'allonge, la dose totale cumulée d'exposition, elle, augmente au cours du temps. C'est le cas des insecticides néonicotinoïdes dont le mode d'action dérive d'un blocage presque complet et virtuellement irréversible des Récepteurs post-synaptiques nicotiniques de l'AcétylCholine (nAChRs) du système nerveux central des insectes. Ainsi, la toxicité des néocotinoïdes pour les arthropodes est renforcée par la durée d'exposition. Leurs relations dose / réponse caractéristique sont fortement similaires à ceux des carcinogènes. Ainsi, il n'y a pas de niveau d'exposition sûr. Ce constat invalide la doxa si familière et répétée à l'envie « d'innocuité des faibles doses » et la range au rang des idées reçues vides de légitimité scientifique. Ce travail théorique se trouve confirmé, de manière tout-à-fait indépendante, par un chercheur australien, Sanchez-Bayo. Et dire que toutes les législations sont fondées sur l'hypothèse hautement optimiste jamais démontrée, maintenant invalidée, de l'innocuité des faibles doses !^c.

Source :

a- Sénat. Perturbateurs endocriniens,

<http://www.senat.fr/rap/r10-765/r10-7657.html>

b- Hill, A.B. (1965). The Environment and Disease: Association or Causation? – Hill - Proceedings of the Royal Society of Medicine, 58, 295-300.

c- Bird decline, insect decline ans neonicotinoids,

<http://www.farmlandbirds.net/fr/content/un-d%C3%A9clin-sastre-en-cours-henk-tennekes-traduit-et-pr%C3%A9sent%C3%A9-par-christian-pacteau>

Ainsi, il a été observé que les mâles (mâle génétiquement) xénope (*Xenopus laevis*) se transforment en femelles « fonctionnelles » après une exposition à l'atrazine. Chez des reptiles, dont la détermination du sexe est dépendante de la température, l'atrazine a un effet sur le sex-ratio. Ainsi, des oocytes apparaissent dans les testicules de tortues traitées à l'atrazine. Cette féminisation due à l'atrazine touche également les poissons et les rats de laboratoire.

Ces relations de causes à effet ont été mises en évidence sous diverses conditions d'exposition, et ont conduit à l'hypothèse de l'universalité des effets que Hayes (2011) a validé. Ils ont été confirmés notamment par des laboratoires indépendants dans 8 pays sur les 5 continents. Une relation dose-effet a également été mise en évidence. Ainsi, chez le poisson zèbre (*Danio rerio*) et le xénope, la fréquence de mâles décroît avec la dose d'atrazine. D'une manière générale, la proportion de mâles affectés augmente avec les concentrations d'atrazine. Ajouter à cela, des effets synergiques entre l'atrazine et d'autres substances chimiques peuvent avoir lieu. Beaucoup d'espèces amphibiennes côtoient, en effet, les milieux agricoles et peuvent donc être exposés à un « cocktail » de pesticides et de fertilisants azotés (nitrate). Peu d'études étudient les effets des mélanges, pourtant Orton et al. (2006)⁷⁹ ont choisi d'étudier l'effet combiné de l'atrazine et des nitrates à des concentrations environnementales sur le développement et la différenciation sexuelle des larves de grenouilles léopard (*Rana pipiens*) pour plusieurs raisons :

- l'atrazine et les fertilisants sont appliqués au printemps, ainsi si des événements pluvieux surviennent (courant à cette période de l'année dans les milieux tempérés) alors leur taux peuvent atteindre des pics assez importants dans les eaux ruisselées déversées dans les cours d'eau et autres zones humides ;
- ces événements coïncident avec la période de reproduction des amphibiens dans ces régions.

Selon cette étude la proportion de grenouilles femelles est augmentée en présence d'atrazine ou de nitrate seul et il semble que cet effet est plus marqué lorsque les grenouilles sont exposées à la combinaison de ces deux substances lors de leur développement.

D'autres altérations physiologiques impliquées dans la reproduction des individus ont été observées telles que la perturbation du système d'orientation à support olfactif chez le triton vert à points rouges (*Notophthalmus viridescens*). D'après deux études réalisées par Park et al (2001, 2002)^{80&81}, des femelles ont été exposées à des concentrations sublétales en endosulfan en vue de tester les effets de cet insecticide sur la sensibilité olfactive des mâles à la phéromone sexuelle des femelles. L'olfaction des mâles était de moindre importance en réponse aux femelles traitées par rapport à celle observée en réponse aux femelles non exposées. Réciproquement, la réponse comportementale de mâles exposés à cet insecticide à la phéromone de femelles non traitées a été examinée. Les mâles exposés à l'endosulfan présentaient des temps de latence plus longs que ceux des mâles témoins pour s'orienter vers l'odeur des femelles. Ces études démontrent, d'une part, que les femelles exposées à l'endosulfan sont moins attractives pour les mâles, et d'autre part, que ces derniers, après exposition à cet insecticide, sont moins sensibles à la phéromone des femelles. Enfin, les femelles et les mâles traités à l'endosulfan présentaient des succès d'accouplement réduits. Aussi, la perturbation du système de sélection olfactive des partenaires sexuels, en présence de cet insecticide peut diminuer le succès reproducteur.

Immunité

Des pollutions d'origine anthropique ont également un effet immunodépresseur et amoindrissent la résistance aux pathogènes des organismes aquatiques, comme le démontre l'étude de Kelly et al. de 2010⁸². Ces scientifiques sont les premiers à avoir mis en évidence les effets seuls et combinés d'un herbicide largement répandu, le glyphosate et d'un parasite *Telogaster opisthorchis* sur la survie et le développement de malformations spinales de juvéniles de *Galaxias anomalus*, une espèce menacée de poisson Néo-Zélandais. Le glyphosate est toxique pour les vertébrés aquatiques seulement à hautes concentrations. Cependant, le polyéthoxylated tallowamine (POEA), un adjuvant (Cf. Encadré 2) présent dans la formulation commerciale, est responsable pour beaucoup de sa toxicité. Le POEA est, en effet, un surfactant c'est-à-dire qu'il facilite la pénétration de la substance active à travers la cuticule de la plante. Contrairement aux polluants d'origine anthropique, les parasites et maladies sont des agents perturbateurs naturels pour les organismes aquatiques et peuvent affecter leurs hôtes en altérant la survie, la reproduction, le développement ou encore le système immunitaire de ces derniers et augmenter donc la susceptibilité de ces hôtes aux infections existantes. Les poissons d'eau douce sont des hôtes secondaires communs des vers trématodes (Cf. Encadré 15). Ils ont démontré que ces infections parasitaires peuvent causer chez les poissons et surtout pour les juvéniles des malformations osseuses dont l'apparition et la sévérité sont accrues en présence d'une faible concentration en glyphosate (0.36 mg/L). La survie des juvéniles ne semble

pas affectée par l'exposition au seul glyphosate à des concentrations environnementales ou par l'infection par *T. opisthorchis* seule. Alors que la double exposition réduit fortement la survie des poissons. Ajouter à cela, la production et la libération de la larve du parasite par son hôte primaire, un escargot aquatique (*Potamopyrgus antipodarum*) est augmentée par des concentrations croissantes de glyphosate jusqu'à atteindre un seuil où la totalité des escargots meurent dans les 24h (3,6mg/L) (Cf. Figure 4).

Cycle de vie d'un ver trématode

Encadré 15

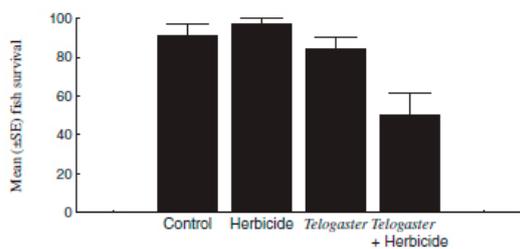
Les vers trématodes sont des parasites au cycle de vie complexe qui exige trois hôtes différents dans un ordre bien défini :

1. L'hôte définitif est en général un vertébré (une anguille d'eau douce dans l'étude de Kelly) dans lequel le parasite atteint sa maturité sexuelle et se reproduit par autofécondation (individu hermaphrodite) dans l'intestin de l'hôte. Les œufs produits dans le tube digestif de l'hôte définitif sont libérés dans le milieu : on appelle ces larves des miracidium, qui sont des larves généralement nageuses.
2. Elles s'introduisent dans un mollusque (escargot aquatique *Potamopyrgus antipodarum*), hôte primaire, et se transforment rapidement en un sac de sporocystes. A l'intérieur de ces derniers, des cellules germent pour former des rédies, qui se différencient eux-mêmes en cercaires. Les cercaires s'échappent par les gonades du mollusque parasité. Ils sont capables de nager en pleine eau, mais leur durée de vie y est de quelques heures.
3. Ils s'enkystent ensuite sous forme de métacercaires dans l'hôte secondaire (juvéniles de *Galaxias anomalus*) dont le groupe taxonomique est variable. Là, ils attendent que leur hôte secondaire soit consommé par son prédateur, un vertébré adulte.

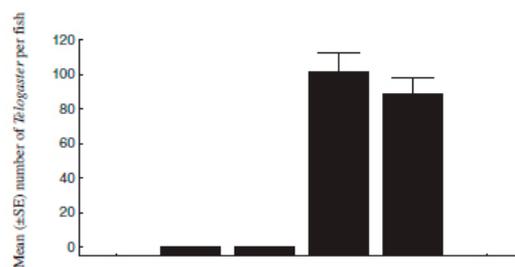
Et le cycle recommence.

Source :

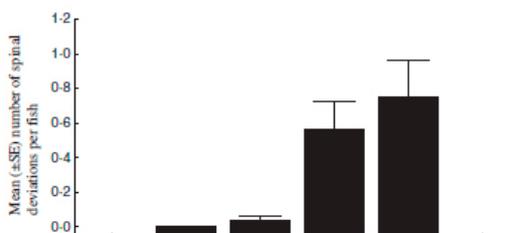
Bartoli, P. & Boudouresque, C.F. (2007). Effect of the digenean parasites of fish on the fauna of Mediterranean lagoons. *Parassitologia*, 49, 111-117.



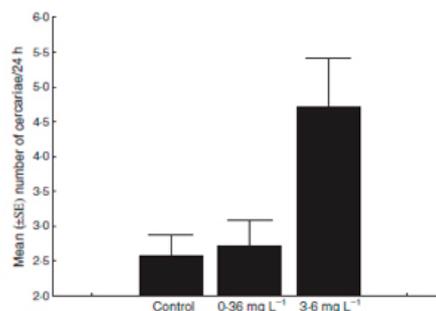
Taux de survie de *Galaxias anomalus*
(% de poissons ayant survécu)



Intensité de l'infection des juvéniles
de *Galaxias anomalus* par *Telogaster opisthorchis*



Ampleur des malformations vertébrales
de *Galaxias anomalus*
(moyenne de malformations par poisson)



Différences entre les traitements pour
les escargots (moyenne du nombre de larves
libérées par les escargots en 24h)

Figure 4 : Résultats études de Kelly

Source :

Kelly, D.W., Poulin, R., Tompkins, D. M. & Townsend, C.R. (2010). Synergistic effects of glyphosate formulation and parasite infection on fish malformations and survival. *Journal of Applied Ecology*, 47, 498–504.

Effets morphologiques

Ces effets physiologiques peuvent, à l'instar de l'étude de Kelly, conduire à des perturbations morphologiques. Trois principaux types d'effets ont été observés toujours chez les amphibiens : des malformations, des altérations de la longueur du corps et des modifications du poids. Différents auteurs ont ainsi rapporté la présence d'œdèmes, ainsi que de malformations au niveau des yeux (manquants ou déplacés dorsalement), de l'appareil digestif (enroulement anormal), des doigts et des membres (manquants, surnuméraires ou déformés), de la colonne vertébrale (lordoses) et de la queue⁸³.

Effets comportementaux

Chez les amphibiens, des altérations de l'activité et/ou de la capacité de nage ont été observées ainsi que des perturbations de l'utilisation de zones refuges, de la capacité à rechercher des ressources alimentaires, de la relation phéromonale sexuelle ou autres comportements aberrants. Par exemple, la présence d'atrazine peut altérer la fréquentation de zones refuges par des larves de salamandre de cours d'eau (*Ambystoma barbouri*)⁸³. Enfin, des expositions sublétales aux pesticides conduisent à l'apparition d'anomalies comportementales. Des têtards de grenouille taureau (*Rana catesbeiana*) exposés à du malathion, perdent leur équilibre de nage, se retrouvant le « ventre en l'air » en cas d'une agitation de l'eau. L'exposition aux pesticides peut également affecter le sex-ratio, la ponte, l'éclosion, la croissance, le développement et la métamorphose des amphibiens. D'une façon similaire, le développement de têtards de rainette criarde (*Hyla chrysoscelis*) est ralenti en présence d'atrazine et de chlorpyrifos. À l'inverse, une concentration en carbaryl de 3,5 mg.L-1 accélère le développement de têtards de la grenouille verte (*Rana clamitans*)⁸³.

Empoisonnement secondaire

Certaines espèces de mammifères font aussi les frais de telles substances. La loutre d'Europe (*Lutra lutra*), autrefois très répandue, a subi un fort déclin durant la période s'étalant des années 50 aux années 80. Les causes en sont la dégradation de son habitat, la perte de ses proies mais aussi le braconnage pour sa fourrure. La contamination globale des milieux aquatiques par les polluants persistants (c'est à dire les pesticides, les PCB ou les métaux lourds) est également considérée comme un facteur potentiellement responsable du déclin des populations de loutres à travers l'Europe. La présence de pesticides comme le DDE (principal métabolite du DDT), le lindane, l'aldrine ou la dieldrine et quelques PCB persistants sont souvent corrélés négativement à la pérennité des populations de loutres ou des conditions physiques des loutres. Ces mammifères aquatiques sont aussi des cibles indirectes de l'éradication des rongeurs. Ainsi, des anticoagulants rodenticides ont été largement et intensément utilisés en France pour le contrôle des rongeurs invasifs comme le rat musqué (*Ondatra zibethicus*) et le ragondin (*Myocastor coypus*). La persistance de ces composés occasionne l'empoisonnement secondaire d'espèces non-cible, particulièrement les prédateurs et les rapaces, mais aussi les mustélidés semi-aquatiques comme les loutres, le vison d'Amérique (*Mustela vison*), le putois (*Mustela putorius*) et même le vison d'Europe (*Mustela lutreola*) particulièrement menacé sur son territoire.

Lemarchand en 2010⁸⁴, a analysé un échantillon de 20 loutres récolté dans le bassin de la Loire. Il a détecté des pesticides organochlorés dans tous les échantillons avec une concentration maximum de 9.4 mg kg-1 de lipides. Des résidus de DDT (surtout du DDE) sont retrouvés majoritairement dans le foie des loutres provenant de l'Allier. Dans les excréments, le lindane, insecticide interdit en France depuis 1973, est le pesticide le plus abondant après le DDT. Dans les tissus de deux loutres des résidus de bromadiolone ont été trouvés à des concentrations de 0,40 et 0,85 mg.kg-1 de poids frais. Ces deux loutres mâles proviennent d'une zone perturbée, où les berges sont hautement traitées à la bromadiolone. La vulnérabilité des individus intoxiqués de façon chronique est plus grande. Ces individus ont une condition physique réduite, une moins bonne efficacité dans la recherche des proies ou d'un nouvel habitat et on observe une augmentation des causes de mortalité (comme la collision avec des véhicules ou une moindre résistance aux pathologies).

b. Cocktail chimique : des populations qui titubent

A travers ces effets délétères, c'est tout l'écosystème qui s'en trouve perturbé du fait de la déstructuration des communautés et des réseaux trophiques à tous les niveaux, et de la fonctionnalité des milieux.

De la bioaccumulation à la bioamplification

La distribution des polluants organiques au sein d'un biotope aquatique est largement dépendante de la solubilité de la molécule dans l'eau et dans les lipides (graisses) des organismes qui peut être fortement amélioré par les adjuvants des formulations commerciales (Cf. Encadré 2). Ces substances se trouvent bioaccumulées par les organismes aquatiques et seront bioamplifiées le long de la chaîne alimentaire.

La **bioaccumulation** se réalise selon deux voies :

- par transfert direct à travers les téguments (peau et branchies) ;
- par ingestion.

Ce mécanisme donne lieu au processus de **bioconcentration** (concentration supérieure dans l'organisme que dans son milieu) et par transfert le long de la chaîne alimentaire (proies-prédateurs) donne lieu au processus de **bioamplification** (augmentation de la concentration dans les maillons supérieurs de la chaîne).

Quand les apports de pesticides sont chroniques et réguliers, l'âge et la sédentarité des organismes sont des facteurs majeurs de contamination des individus. Les plus âgés, qui sont en général les plus gros, sont les plus chargés. Inversement, si les apports de polluants sont accidentels ou occasionnels, le ratio « surface du corps/volume du corps » est déterminant pour le niveau de contamination, ce ratio étant plus élevé plus les organismes sont petits. D'après ce concept, à l'intérieur d'un réseau trophique, la bioconcentration est plus importantes pour les petits organismes à la base de la chaîne alimentaire que pour les prédateurs. Il existe cependant des exceptions liées à la morphologie et à la structure des organismes plus ou moins « imperméable » aux substances (surfaces branchiales pour les poissons et chitine pour les insectes). Les phénomènes de bioaccumulation, bioconcentration et de bioamplification sont souvent concomitants dans un écosystème⁸⁵.

La contamination des zones humides camarguaises en est le parfait exemple. Cette région possède un environnement favorable à la culture du riz nécessitant de gros volume d'eau et est devenue depuis le milieu du XX^{ème} siècle la seule région rizicole de France métropolitaine. Cependant, cette aire protégée reçoit, outre les résidus de traitement des rizières, des effluents en provenance de la vallée du Rhône chargés en pesticides provenant des agrosystèmes bordant le fleuve. L'étang du Vaccarès est l'étendue d'eau la plus vaste de Camargue et sert de réceptacle par l'intermédiaire des canaux de drainage des rizières. Depuis plus de 20 ans, il a été clairement démontré que des transferts de contaminants organiques ont lieu dans l'étang du Vaccarès. En effet, depuis les années 80, des programmes de recherche ont été initiés pour analyser l'exposition de sa biocénose. Initialement, les projets se sont portés sur les prédateurs. Des métabolites du lindane et du DDT et occasionnellement des résidus d'heptachlore et d'endosulfan ont été détectés dans les coquilles d'oiseaux super-prédateurs. L'anguille (*Anguilla anguilla*), organisme aquatique « commun » des zones humides des côtes méditerranéennes, constitue un excellent bio-indicateur de ces pollutions du fait de sa position élevée dans la chaîne alimentaire. La population d'anguilles camarguaise a développé des nécroses et des lésions hépatiques et branchiales plus ou moins réversibles en relation avec ces contaminations.

Le déclin des populations d'anguilles européennes s'avère actuellement particulièrement préoccupant. Dans un article de synthèse, sur la contamination du réseau trophique du Vaccarès par des pesticides chlorés, Roche et al. (2009)⁸⁵ ont montré que tous les pesticides recherchés ont été retrouvés chez près de 300 échantillons prélevés en 2002 et 2005 (printemps et automne). Parmi les contaminants analysés, on retrouve des substances agrochimiques récemment utilisés à l'époque aux alentours de l'étang, des organochlorés interdits (plus précisément fipronil, diuron, lindane, heptachlore, endosulfan, dieldrine, aldrine, endrine, HCB et DDE) et leurs métabolites. Les résidus de ces contaminants sont, en effet, retrouvés majoritairement dans les estuaires méditerranéens. En fin de chaîne alimentaire, on retrouve les oiseaux qui du fait de leur haute position dans les réseaux trophiques subissent le phénomène de bioamplification. Par exemple, Berny et al. (2002) ont montré que les œufs des aigrettes garzettes (*Egretta garzetta*) accumulent des contaminants comme le lindane ou le DDT.

En ce qui concerne l'ensemble du réseau, le diuron était la substance la plus fréquente dans le réseau trophique du Vaccarès, en 2005. Cet herbicide urée-substituée était alors utilisé dans les vignobles et les plantations fruitières de la vallée du delta du Rhône. Les anguilles (juvéniles surtout) sont hautement contaminées au printemps et en automne. Il en est de même chez les autres poissons. Les athérines ou éperlan (*Atherina presbyterou*) et les anguilles juvéniles sont fortement contaminées par le lindane, substance largement utilisée en riziculture jusqu'à son interdiction en juillet 1998. La persistance de certaines molécules se traduit par la présence d'heptachlore chez les muges, les anguilles juvéniles et les crevettes brunes collectées en 2002 et 2005 soit près de 20 ans après son interdiction ainsi que celle d'endosulfan chez les gammares et les anguilles en 2002 et par d'autres molécules organochlorées. Tous les niveaux de contamination sont supérieurs à ceux décrits dans d'autres sites méditerranéens étudiés. Une multi-contamination a donc été mise en évidence à tous les niveaux du réseau trophique et elle répond au processus de bioamplification dans l'étang de Vaccarès. Cette contamination est chronique, variable mais tend à régresser.

Déstructuration des communautés par les pesticides

La faune et la flore des écosystèmes aquatiques expriment souvent une grande tolérance à des toxiques spécifiques (en clair, les insecticides et les herbicides « ciblent » des organismes particuliers dans une communauté) avec pour conséquence un effet léthal pour quelques espèces et peu d'effet pour d'autres. Tous les niveaux du réseau trophique aquatique sont concernés⁸⁶. Les polluants modifient fortement les relations bien définies entre les organismes et avec leur environnement, à travers un changement des relations prédateur-proie et des relations de compétition.

Les relations de compétition interviennent en général entre espèces « proches » appartenant à la même communauté.

La communauté microbienne des sédiments fournit d'importantes fonctions à l'écosystème aquatique comme la décomposition de la matière organique, le recyclage des nutriments et constitue une source importante de nourriture grâce à sa position à la base du réseau trophique aquatique. Les bactéries sont capables de détoxifier ou de dégrader des polluants organiques associées aux sédiments. Elles peuvent donc assainir l'écosystème mais jusqu'à un certain point. En 2008, Widenfalk et al.⁷⁶, ont montré que le captane, le glyphosate, l'isoproturon, ou encore le primicarde modifiaient significativement la structure des communautés bactériennes dans les sédiments de rivière, même à des concentrations environnementales, l'activité et la biomasse bactérienne restant inchangée. Cette modification structurale de la communauté peut engendrer des déséquilibres écologiques puisque certaines bactéries, sensibles aux pesticides, peuvent être éliminées et donc ne plus assurer leurs fonctions. Si d'autres bactéries insensibles aux pesticides prennent le relais des bactéries éliminées, on parle de compensation. Cependant, la compensation a ses limites et elle est d'autant plus efficace si la diversité bactérienne est importante, or, les pesticides réduisent fortement cette diversité bactérienne, notamment dans les sols.

Dans l'étude de Liess (2005)⁸⁷ toute la communauté de macro-invertébrés c'est-à-dire majoritairement des larves d'insectes terrestres est affectée par les pesticides. A partir d'une étude portant sur 20 ruisseaux européens, Liess et son équipe ont créé l'indice SPEAR (SPecies At Risk) basé sur la classification des espèces de macro-invertébrés aquatiques en fonction de leur vulnérabilité vis-à-vis des pesticides. Parmi les critères pris en compte pour définir ces groupes on trouve

- la sensibilité vis-à-vis d'un polluant,
- le temps de génération (âge moyen des femelles arrivées à maturité sexuelle),
- la capacité migratoire et la présence d'une étape de la vie de l'insecte aquatique (larve) durant la période maximale d'application des pesticides (printemps en général).

Cette méthode de classification a permis de déterminer l'effet des pesticides sur les communautés d'invertébrés

aquatiques sans prendre en compte les autres types de pollutions. Cette approche a eu pour avantage de réduire l'influence de la variabilité des communautés des sites et d'augmenter la capacité à détecter les effets perturbateurs des pesticides sur la composition des communautés. En trois ans, il a été démontré que les pesticides ont des effets nocifs à court et long terme sur les communautés de macro-invertébrés aquatiques à des concentrations 10 fois inférieures à la concentration létale pour 50% (CL50) des daphnies (*Daphnia magna*) en 48h officiellement établie en laboratoire. Il en résulte une diminution des espèces à risque c'est-à-dire pollusensibles dans les communautés durant les périodes d'épandage. Les mesures ont été effectuées en avril (avant l'épandage), et en mai et juin (périodes d'épandage) de 1998 à 1999. Les sites les plus pollués montrent une réduction de 75% des espèces à risque d'avril à juin. Par contre, il démontre que si un espace forestier se trouve en amont de la zone d'étude alors les effets sont moindres car la forêt constitue une zone refuge pour ces espèces, qui peuvent recoloniser la zone après l'évènement de pollution.

Les pesticides interviennent aussi sur la relation prédateur-proie à trois niveaux :

- la réduction des taux de prédation par mortalité des prédateurs

De nombreuses études ont mis en évidence une augmentation de l'abondance de proies du fait de la plus grande sensibilité de leurs prédateurs aux pesticides. Il faut préciser que les herbivores sont considérés comme « prédateurs » des plantes aquatiques ou du phytoplancton. La biomasse des producteurs primaires, comme les algues, augmente quand les herbivores sont impactés, comme le montrent 60% des études répertoriées dans l'article de synthèse de Fleeger en 2003. Les insecticides diminuent les populations d'insectes et de crustacés qui consomment le phytoplancton favorisant ainsi l'eutrophisation. Taylor et al (1994) ont démontré que si les poissons prédateurs sont contaminés dans la rivière l'abondance des insectes augmente⁸⁶.

- la réduction des taux de prédateurs du fait d'altérations morphologiques ou comportementales des proies

Taylor et al (1995) ont observé qu'un pesticide pouvait réduire l'activité natale des cladocères, ce qui diminuerait leur susceptibilité à être consommés par les hydres. Un autre exemple est celui donné par Hannazato en 2001 qui a démontré que les insecticides pouvaient induire les mêmes effets morphométriques chez les daphnies (*Daphnia pulex*) que les odeurs de leurs prédateurs. Quand les daphnies sont exposées à la fois au carbaryl et à l'odeur du prédateur, on observe une réduction de la croissance et de la productivité de ces organismes⁸⁶.

- l'augmentation des taux de prédation du fait d'altérations comportementales des proies

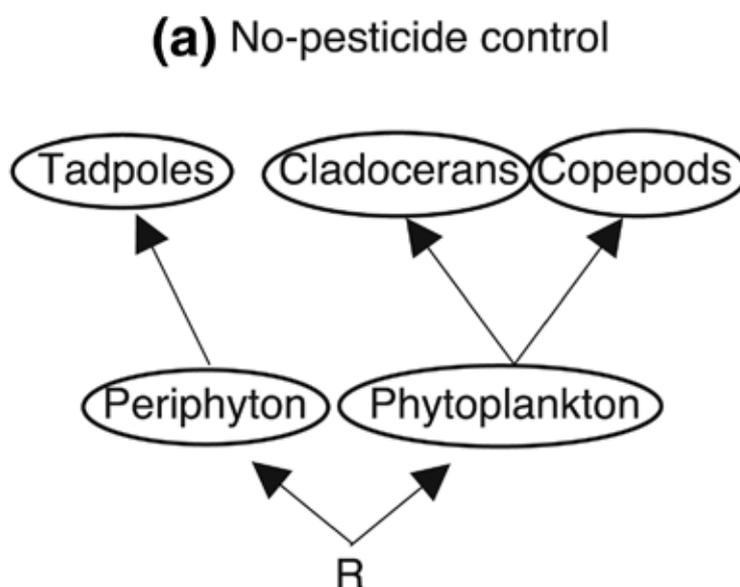
Hinkle-Conn et al (1998) suggèrent qu'une plus forte proportion d'insectes vivant normalement dans les sédiments évite de s'y enfouir s'ils sont contaminés ; ils augmentent ainsi leur vulnérabilité face aux prédateurs. Il en résulte, à terme, un déclin des populations de proies et une augmentation du transfert des contaminants de la proie vers le prédateur⁸⁶.

On a précédemment évoqué les effets des pesticides sur la morphologie des amphibiens. Ces altérations morphologiques augmentent la vulnérabilité des individus à la prédation. Les amphibiens de petite taille sont davantage exposés aux risques de prédation. Les altérations comportementales induites par l'exposition aux pesticides peuvent également diminuer leur capacité de fuite face au prédateur, ou les rendre plus repérables. Chez de nombreuses espèces d'amphibiens, la réponse antiprédatrice majoritairement présentée par les larves correspond à une réduction de l'activité locomotrice. Si cette réaction comportementale s'avère efficace en présence de prédateurs chassant à l'affût et nécessitant la perception de mouvement pour détecter les proies, cette réponse peut se révéler inadaptée en présence de prédateurs explorant activement le milieu. Dans tous les cas, le risque de prédation peut être amplifié en présence de concentrations sublétales de pesticides, susceptibles d'induire chez ces larves des réductions de l'activité natale, vitesse ou autres comme la perte d'équilibre ou une désorientation de la nage. Chez certaines espèces d'amphibiens, la métamorphose, permettant de passer du stade larvaire au stade adulte, est concomitante avec le passage du milieu aquatique au milieu terrestre. Or, il a été démontré que la présence de pesticides pouvait retarder la métamorphose, contraignant ainsi les larves à une exposition plus longue et à la très forte pression de prédation exercée en milieu aquatique⁸³.

Les polluants peuvent aussi avoir une influence sur des espèces clé de voûte ou espèces dites ingénieuses,

c'est-à-dire des espèces dont dépendent fortement un grand nombre d'espèces de la communauté car elles modèlent l'environnement de manière à ce qu'il soit favorable au plus grand nombre d'organismes dans le milieu considéré⁸⁶.

L'étude de Relyea de 2005⁸⁸ résume assez bien les différents effets que peuvent engendrer les pesticides sur la faune et la flore aquatique. Dans son étude, il étudie l'impact de quatre pesticides sur la biodiversité d'une communauté aquatique en microcosme dont une partie est représentée par la Figure 5 ; les insectes prédateurs n'étant pas représentés. Les résultats de cette étude indiquent que les pesticides génèrent de profonds bouleversements sur la diversité et la productivité des communautés aquatiques, même sur une étroite période de temps (2 semaines). Cependant, la nature des impacts sur les communautés est dépendant du type de pesticide.



R = ressources de base pour la communauté végétale (périphyton et phytoplancton)
 Les flèches représentent les relations trophiques ; par exemple le périphyton est consommé par les têtards (Tadpole) et le phytoplancton par les cladocères (ex : daphnies) et les copépodes (petits crustacés dont les adultes ne mesurent qu'un ou deux millimètres le plus souvent).

Figure 5 : Communauté aquatique étudiée par Relyea

Source : Relyea, R.A. (2009). A cocktail of contaminants: how mixtures of pesticides at low concentrations affect aquatic communities. *Oecologia*, 159, 363–376.



© NATUREPXL.COM / EDWIN GIESBERS / WMF-CANON

Silhouette de rainette verte (*Hyla arborea*) à travers une feuille.

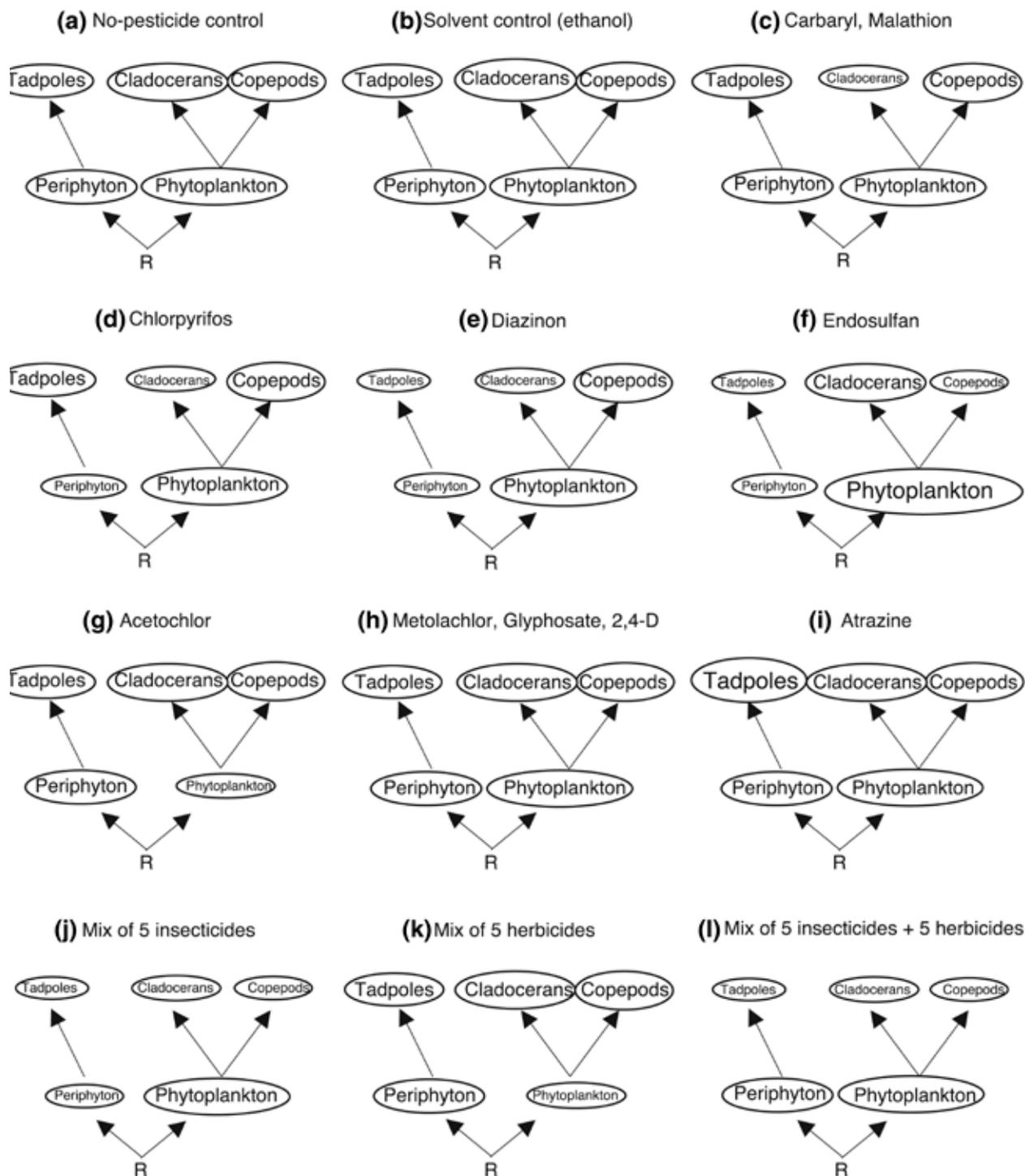
Parmi les quatre pesticides testés figurent deux insecticides : le carbaryl et le malathion qui sont des neurotoxiques à spectre d'action large. Le carbaryl plus connu sous le nom de Sevin est appliqué en forêts, dans les maisons, les jardins et les zones cultivées. Le malathion est appliqué sur les cultures fruitières, les cultures de légumes et de coton. Dans cette expérimentation, les deux insecticides ont eu des effets similaires sur cette communauté. Ces effets sont représentés au niveau de la Figure 6 c, c'est à dire :

- Pas d'effets sur le périphyton et les têtards de grenouille
- Réduction de la diversité et de la biomasse du zooplancton (= cladocères et copépodes) par élimination des cladocères (daphnies), mais pas des copépodes (dont l'abondance augmente avec le malathion). L'élimination des daphnies (crustacés herbivores), a permis à la biomasse de phytoplancton de s'intensifier et de fournir les ressources nécessaires aux herbivores copépodes. Les copépodes étant moins sensibles aux herbicides que les daphnies, ils prédominent dans cette situation.
- Réduction de la diversité et la biomasse des insectes prédateurs, exterminant complètement les populations de dytiques (*Dysticus*) et en réduisant l'abondance d'odonates *Tramea* et de notonectes.
- Pas d'effets sur deux espèces d'insectes (les libellules *Anax* et les punaises d'eau), suggérant que la sensibilité des insectes est différente selon les espèces. En d'autres mots, les insecticides n'éliminent pas l'intégralité de la communauté d'insectes. Donc, bien que la prédation des insectes aquatiques puisse être réduite par l'application d'insecticides, les prédateurs majeurs comme les libellules *Anax* continuent à consommer des proies beaucoup moins abondantes.

En résumé, la richesse spécifique est réduite de 15% en présence de Sevin et de 30% avec du malathion.

Parmi les quatre pesticides testés figurent deux herbicides : le round-up (glyphosate + adjuvant), appliqué dans les maisons, les jardins, les forêts, le long des voies de circulation et les zones de culture. Le 2.4-D est un herbicide qui opère comme régulateur de croissance en altérant la division cellulaire dans la plante. Il est largement utilisé en agriculture. Les deux herbicides n'ont aucun effet perceptible sur le zooplancton, les insectes prédateurs ou les escargots et aucun autre effet chiffré n'a été observé avec le 2.4D. Le round up, par contre, a complètement éliminé deux espèces de têtards et presque exterminé une troisième espèce, résultant en un déclin de 70% de la richesse en têtards. Les amphibiens sont touchés du fait de la perte de biomasse en périphyton qu'ils consomment. Au final, la richesse spécifique est réduite de 22% avec du round up (cf. Figure 6 h).

Relyea est allé encore plus loin d'après une autre étude parue en 2009⁸⁹ en étudiant les effets de mélanges de pesticides sur ce même genre de communauté. Il a examiné comment une communauté aquatique (cf. Figure 5) est affectée d'une part par la présence seule de cinq insecticides (malathion, carbaryl, chlorpyrifos, diazinon et endosulfan) et de cinq herbicides (glyphosate, atrazine, acetochlor, métolachlor et 2,4-D) à faibles concentrations. D'autre part, il a étudié les effets du mélange soit des cinq herbicides, soit des cinq insecticides sur cette communauté. Les résultats présentés Figure 6 montrent que les pesticides pris chacun isolément ou combinés ont un impact dramatique sur cette communauté via des effets directs et indirects. On peut noter qu'il obtient les mêmes résultats pour les quatre pesticides qu'il a traités lors de son étude parue en 2005.



R = ressources de base pour la communauté végétale (périphyton et phytoplancton)

Les flèches représentent les relations trophiques ; par exemple le périphyton est consommé par les têtards (Tadpole).

La biomasse est proportionnelle à l'importance de l'ovale.

Figure 6 : Résultats de l'étude 2009 de Relyea

Source :

Relyea, R.A. (2009). A cocktail of contaminants: how mixtures of pesticides at low concentrations affect aquatic communities. *Oecologia*, 159, 363–376.

3. LES RÉCIFS CORALLIENS : ON DÉSHERBE LE CORAIL !

Les récifs coralliens assurent une protection contre les tempêtes, fournissent des aliments, des emplois, sont sources de loisirs et d'autres revenus pour plus de 500 millions de personnes dans le monde ; cependant, 20% des récifs coralliens ont été détruits et 50% sont menacés³. Ces écosystèmes marins sont de loin les habitats les plus menacés au monde, avant même les forêts tropicales humides⁹⁰. Le réchauffement climatique, la surexploitation des espèces marines et les pollutions chimiques constituent les principales menaces qui pèsent sur ces milieux. A ce titre, les pesticides font partie des principales menaces pour les récifs coralliens (Ramade et Roche, 2006 ; Salvat et al., 2012). Le ruissellement des eaux pluviales et l'infiltration des pesticides provenant des terres cultivées est une source majeure de contamination des habitats marins côtiers dont les récifs coralliens, particulièrement en période de fortes pluies⁹¹. Les polluants organiques persistants ont été mis en évidence dans les écosystèmes de toutes les grandes provinces récifales du monde. Même les pesticides non persistants peuvent être détectés dans tous les récifs du globe jouxtant des cultures littorales. Certains travaux ont montré que divers polluants toxiques dont les pesticides perturbent la fécondation et la fixation des larves planula des polypes, entravant, de ce fait, le renouvellement des colonies et la restauration des récifs déjà dégradés par l'homme. D'autres études ont révélé que les herbicides pouvaient provoquer le blanchiment des coraux. Les herbicides constituent, en effet, des polluants particulièrement redoutables pour les récifs coralliens en raison de leur forte toxicité potentielle pour les algues symbiotiques photosynthétiques des coraux, les zooxanthelles. En effet, quelques expérimentations in vitro ont montré que des herbicides comme le diuron ou certaines triazines sont susceptibles d'inhiber la photosynthèse de ces algues symbiotiques à de faibles concentrations de l'ordre du µg/L résultant en une expulsion des zooxanthelles et un blanchissement des coraux. En plus de leurs actions directes sur les coraux, les polluants toxiques rejetés dans les eaux récifales peuvent aussi agir sur d'autres habitats propres aux écosystèmes coralliens, en particulier sur les herbiers de phanérogames marines propres au lagon. Toutefois, et comme le soulignaient récemment Raberg et al. (2003), en dépit d'un usage commercial massif des herbicides, on peut être surpris du faible nombre de publications concernant les effets de ces substances sur les coraux dans la littérature scientifique. Parmi les premières investigations relatives à cette question, on notera les travaux de Glynn et al (1984), dans lesquels des colonies de *Pocillopora damicornis* ont été étudiées dans le golfe de Chiriqui sur la côte Pacifique de Panama ayant présenté un blanchiment marqué dans un secteur de 10.000 km². Ils ont constaté que survenait une forte mortalité 5 à 6 semaines après la perte des zooxanthelles. Néanmoins ces chercheurs ne purent mettre en évidence de corrélation significative entre les concentrations en 2,4-D dans les tissus des polypes et le blanchissement, alors que les colonies ayant perdu leurs zooxanthelles sont fréquemment plus chargées en herbicides que celles en parfait état venant des eaux non contaminées. En revanche, lors d'expériences de laboratoire effectuées sur la même espèce, un blanchiment apparaît aux concentrations de 0,02 mg/L de 2,4-D et la mort des polypes s'observe à partir de 0,1 mg/L⁹².

La Grande Barrière de Corail Australienne, qui est un haut lieu de biodiversité est aussi gravement menacée par ces substances. Comme on vient de le voir, des taux relativement bas de résidus d'herbicides peuvent être néfastes pour les organismes des récifs. Lewis et son équipe (2009)⁹⁰ ont choisi d'étudier ces contaminations en amont c'est-à-dire via le parcours des résidus de pesticides présents dans les cours d'eau et les ruisseaux de trois bassins-versants dont les flux se jettent dans l'océan non loin de la Grande barrière de Corail. D'après des études ultérieures, la présence de résidus d'herbicide a déjà été détectée dans ces cours d'eau ; mais aussi dans les sédiments intertidaux c'est-à-dire situé dans la zone de battement des marées et subtidiaux c'est-à-dire dans la zone toujours immergée du littoral. On en retrouve également au niveau des herbiers, des mangroves et dans l'eau de la zone côtière dans laquelle se trouvent les récifs. Cependant, ces études n'ont pas concerné le cheminement des pesticides du bassin versant jusqu'aux récifs. L'élevage bovin et la culture de la canne à sucre sont les principales industries situées au niveau des bassins versants en lien avec la Grande Barrière de Corail depuis la fin du XIX^{ème} siècle. Depuis 30 à 40 ans, les pratiques culturales de la canne à sucre ont fondamentalement changé par une diminution forte du labour et l'utilisation de 3 à 7 fois plus d'herbicides.

Les pesticides ultérieurement détectés dans les cours d'eau de ces bassins versants où la culture de canne à sucre est prédominante sont préoccupants pour la santé du littoral. En effet, des résidus de diuron, d'atrazine, d'hexazinone et d'amétryne ont été retrouvés dans ces cours d'eau et l'étude de Lewis (2009) démontre que les quantités de ces pesticides charriées par l'eau sont importantes. Au niveau de deux grandes rivières de cette région, des centaines de kilogrammes de diuron, d'atrazine et d'hexazinone sont transportées lors des grandes crues. Ce mélange est susceptible de causer de grands désordres dans les écosystèmes coralliens mais aussi au niveau des mangroves et des herbiers. Des effets ont déjà été reportés comme l'assemblage différent d'espèces dans les zones les plus polluées par rapport aux zones peu contaminées, mais aussi un déclin de la biodiversité avec la prédominance de certaines espèces d'algues aux dépens des autres.

Un programme de recherche a été développé dans le cadre de l'Initiative Française pour les Récifs Coralliens (IFRECOR) afin d'évaluer la contamination de la biocénose récifale par les pesticides à travers l'étude de 6 communautés récifales : celle de Polynésie Française, de Guadeloupe et de Martinique, de Mayotte, de la Réunion et de Wallis. Une première étude a été menée en Polynésie Française par Roche et al. en 2011⁹¹, basée sur la comparaison des récifs se situant non loin d'une zone agricole et des récifs se situant à proximité de terres rurales traditionnelles supposées ne pas être soumises aux apports de pesticides que subissent les terres agricoles. Deux campagnes d'échantillonnage ont eu lieu (saison sèche et saison humide) la même année. Les pesticides recherchés dans cette étude étaient des organochlorés comme le chlordécone (Képone[®]) et des herbicides de la famille des triazines, des dérivés de l'acide chloroacétique et des urées substituées, les deux dernières familles étant connues pour être particulièrement toxiques pour les zooxanthelles (*Symbiodinium endosymbiont*). En effet, les zooxanthelles se développent dans les mers chaudes dépourvues de phytoplancton en absorbant le dioxyde de carbone libéré par les coraux et fournissent en retour divers nutriments à leur hôte. Dans cette étude, plusieurs espèces clés ont été choisies comme un poisson perroquet herbivore de la famille des *Scaridae* que l'on trouve dans l'ensemble des récifs coralliens et un mérou carnivore de la famille des *Serranidae*. Ce dernier est un super-prédateur, il occupe une position élevée dans le réseau trophique. De façon inattendue, des niveaux significatifs de chlordécone (Képone[®]) ont été mis en évidence dans les espèces analysées, dont des poissons consommés localement. Ce fait est d'autant plus préoccupant que l'usage de cet insecticide, dont la rémanence dans les sédiments se chiffre en millénaires, n'aurait jamais été officiellement homologué en Polynésie Française. Les analyses ont aussi mis en évidence une contamination des organismes majeurs du réseau trophique en particulier par des herbicides des groupes des chloracétamides (alachlor) et des triazines (atrazine, simazine, terbutylazine), ainsi que par les principaux insecticides organochlorés. Le problème majeur posé par les herbicides est leur impact sur l'algue unicellulaire photosynthétique, source alimentaire indispensable aux coraux. Cette algue réalise également une symbiose avec d'autres espèces récifales telles que les mollusques de la famille des *Tridacnidae* (bénitiers). En général, les concentrations en herbicides sont trop faibles pour causer une inhibition de l'activité de ces algues, cependant dans le cas présent les concentrations sont telles que l'activité de l'algue est fortement menacée. La présence d'organochlorés a été relevée dans le foie des poissons, l'hépatopancréas des bénitiers et dans le système digestif des holothuries. Les holothuries ingèrent de grandes quantités de sédiments pour se nourrir, ce qui signifie que leur niveau de contamination est un bon indicateur de la contamination du sédiment. Cette étude cependant n'a pas pu mettre en évidence une relation de cause à effet entre la position des récifs coralliens près de la zone agricole ou non et les taux de contamination retrouvés étant donné que les organismes les plus contaminés se trouvaient en zone rurale traditionnelle. La contamination au chlordécone des organismes du récif polynésien est préoccupante vis-à-vis des risques sanitaires qu'il peut engendrer pour la population humaine, les habitants consommant la plupart de ces espèces comme les bénitiers par exemple. Cet insecticide cause déjà des problèmes en Martinique où il a été utilisé largement dans les bananeraies et autres cultures tropicales. Ce pesticide a contaminé les sols, les eaux côtières et la faune inféodés aux côtes martiniquaises.

4. ZONES URBANISÉES : PEUT MIEUX FAIRE !

Malgré les effets néfastes de l'urbanisation sur la faune et la flore liées, les zones urbaines sont devenues un refuge pour la biodiversité par rapport aux autres milieux fortement impactés par l'Homme tels que les espaces d'activité agricole intense⁹³. Certes, la majorité des pesticides est utilisée par le secteur agricole (90 à 95% selon les estimations). Toutefois, les pesticides ont aussi des usages non agricoles dans des zones non cultivées, afin de lutter notamment contre des espèces végétales jugées dérangeantes pour des raisons de sécurité (infrastructures de transport) ou d'aménagements paysagers (parcs et jardins). En effet, les 5 à 10 % de pesticides restant sont employés par des utilisateurs nombreux et divers : les communes, la SNCF/RFF, les sociétés d'autoroutes et des sites disparates tels que les aéroports, les sites industriels ou commerciaux, les zones aéroportuaires, les parcs, les terrains de sport, les golfs, les hippodromes... et les particuliers⁹⁴.

Cependant, la loi Grenelle 2 prévoit la possibilité d'interdire ou d'encadrer l'utilisation de pesticides dans des zones particulières fréquentées par le grand public ou par des groupes de personnes vulnérables. Les produits phytopharmaceutiques bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché sont interdits dans les cours de récréation et espaces habituellement fréquentés par les élèves dans l'enceinte des établissements scolaires, par les enfants dans l'enceinte des crèches, des haltes-garderies, des centres de loisirs et les aires de jeux qui leur sont destinées dans les parcs, jardins et espaces verts ouverts au public. Ces mêmes produits sont interdits à moins de 50 mètres des bâtiments d'accueil ou d'hébergement des personnes vulnérables : centres hospitaliers et hôpitaux, établissements de santé privés, maisons de santé, maisons de réadaptation fonctionnelle, établissements qui accueillent ou hébergent des personnes âgées, des personnes handicapées ou des personnes atteintes de pathologies graves. S'ils contiennent des substances classées comme cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques, persistants, bioaccumulables et toxiques, ils sont interdits dans les parcs, les jardins, les espaces verts et les terrains de sport et de loisirs ouverts au public. Lorsque les produits phytopharmaceutiques soumis à autorisation ne rentrant pas dans ces catégories sont utilisés dans ces lieux, les zones traitées doivent faire l'objet d'un balisage et d'un affichage signalant l'interdiction d'accès à cette zone. L'affichage doit préciser le produit utilisé, la date de traitement et la durée d'éviction du public⁹⁵.

La contamination de l'air par les pesticides commence à être aujourd'hui mieux connue grâce aux campagnes de mesures ponctuelles qui mettent en évidence la présence de substances en zone urbaine (à l'exclusion des transferts des zones agricoles vers les zones urbaines). Ces mesures montrent ainsi que l'utilisation de pesticides pour des usages non agricoles a un impact sur la qualité de l'air ambiant. Les surfaces non agricoles traitées sont souvent imperméables (routes) et le ruissellement est important. Par ailleurs, en dépit des notices techniques et des précautions qui semblent évidentes, de nombreux utilisateurs ne respectent pas un bon dosage, épandent sans prendre en considération les conditions météorologiques (vent, précipitation...). L'impact de l'usage non agricole des pesticides sur l'environnement mais aussi sur la santé des personnes exposées est une réalité en soi. La pollution générée par ces usages n'est pas négligeable puisque des études ont montré que les herbicides utilisés en milieu urbain sans précaution suffisante, polluent directement les rivières. Ainsi, leur concentration en aval d'une agglomération pouvait être 20 fois plus importante que la concentration en amont⁹⁴.

La diversité des utilisateurs de pesticides dans le domaine non agricole rend difficile le suivi des pratiques, des substances et des tonnages utilisés. Toutefois, les Fédérations Régionales de Défense contre les Organismes Nuisibles (FREDON) ont réalisé plusieurs enquêtes au niveau régional afin de réunir des informations sur les produits utilisés, les usages, la gestion des produits phytosanitaires. Une enquête dans la région Poitou-Charentes montre :

- une grande diversité dans les produits utilisés avec 489 produits commerciaux différents dans les communes,
- une consommation plus importante pour les communes de plus de 2 000 habitants, liée probablement aux superficies à traiter,
- une utilisation très soutenue des herbicides pour l'entretien des communes,
- quelle que soit la taille de la commune, les substances actives les plus utilisées sont le glyphosate, le diuron, le thiocyanate d'ammonium et la terbuthylazine et
- certaines substances pourtant interdites depuis quelques années continuent d'être utilisées comme la simazine, ce qui, selon l'étude, serait dû à une mauvaise compréhension de l'homologation de la part des communes⁹⁴.

Selon l'Union des entreprises pour la Protection des Jardins et des espaces verts (UPJ) et l'UIPP, l'utilisation de pesticides par les particuliers est largement majoritaire puisqu'elle représenterait 86% du tonnage en zone non agricole, contre 10% pour les communes et 2% pour la SNCF. Les produits utilisés sont en très grande majorité des herbicides. Pour les jardiniers amateurs, la situation est sans doute pire dans la mesure où il n'y a pas de formation à l'utilisation des produits et qu'il n'y a pas d'information particulière mise à part la notice présente sur l'emballage. Les particuliers sont donc très peu avertis des précautions à suivre. La possibilité de surdosage et les comportements dangereux (comme verser les contenus des bidons dans les égouts ou les caniveaux) sont certainement fréquents⁹⁴. Ainsi, afin de sensibiliser les jardiniers amateurs aux pesticides qu'ils utilisent (fongicides, herbicides, insecticides, molluscicides) et aux dangers qu'ils peuvent présenter, le ministère chargé de l'environnement a lancé, en mai 2010, une campagne de communication issue du plan écophyto 2018 sur trois ans ayant pour slogan « L'abus des pesticides est dangereux pour tous les habitants de votre jardin »⁹⁶(Cf. Encadré 16).

Encadré 16

Affiche campagne du plan écophyto 2018 pour les jardiniers amateurs

Source :

Campagne écophyto 2018 :

« L'abus des pesticides est dangereux pour tous les habitants de votre jardin »,

<http://www.jardiner-autrement.fr/la-campagne>



Une forte proportion des espaces urbains végétalisés sont des pelouses qui rassemblent une grande part de la biodiversité urbaine. Bien qu'ils soient petits et souvent perturbés, ces espaces verts peuvent fournir des services écosystémiques importants dans un contexte urbain. Les pelouses servent par exemple à retenir et infiltrer l'eau de pluie et permettent donc de diminuer le ruissellement, elles limitent l'érosion des sols et atténuent les nuisances phoniques. Elles fournissent des ressources pour les petits mammifères et les invertébrés (pollinisateurs, prédateurs de ravageurs, disperseurs de graines...). Enfin, elles sont particulièrement appréciées pour leur beauté et le bien-être physique et mental qu'elles procurent car elles constituent des espaces de loisirs qui permettent une amélioration des relations sociales. Une étude récente de la diversité floristique de 100 pelouses de Paris et de l'impact de la gestion de ces pelouses sur la biodiversité a été réalisée par Betoncici et son équipe (2012)⁹³. 79 espèces ont été identifiées, toutes herbacées avec 53% de pérennes et 47% d'annuelles. En termes de fréquence, les pelouses sont dominées par le ray-grass (*Lolium perenne*). Leur richesse spécifique varie de 1 à 24 espèces par pelouses avec une moyenne de 9.2. Les pelouses sont majoritairement composées d'espèces natives (91%) et 2 d'entre elles sont considérées comme invasives (*Conyza sumatrensis* et *Conyza canadensis*).

Pelouses	Privées	Publiques
Traitement aux pesticides	Aucun	55%
Ouverture au public	Aucune	81%
Tonte régulière	27%	84%

Tableau 3 : Résultats étude de Betoncici

La présence de la pelouse dans un espace vert, la fréquentation du public, la fréquence de tonte et l'utilisation de pesticides sont associées négativement avec la richesse spécifique et la rareté (Cf. Tableau 3).

Il n'en reste pas moins que la gestion écologique de plus de 80 jardins et espaces verts municipaux parisiens participe à la bonne santé de la faune et de la flore parisienne. L'usage des pesticides a été diminué de 95%. En effet, les jardiniers de la ville de Paris utilisent le moins possible de pesticides et de fertilisants chimiques, une charte de biodiversité a été signée. Ils pratiquent la lutte biologique et choisissent les espèces de plantes et d'arbustes de manière raisonnée. De ce fait, les ruches installées dans Paris (près de 300) sont très productives grâce à l'abondance de fleurs dans les parcs et jardins. Le miel de Paris est également un des moins contaminé⁹⁷.



© NATUREPXL.COM / LAURENT GESLIN / WWF-CANON

Abeilles (*Apis mellifera*) en vol près des buildings, Paris, France

IV

**NÉCESSITÉ D'UN
NOUVEAU PARADIGME :
LA RELATION HOMME
NATURE, UNE COPIE À
REVOIR !**

« Il était une fois une petite ville, au cœur de l'Amérique où toute vie semblait vivre en harmonie avec ce qui l'entourait. [...] Et puis un mal étrange s'insinua dans le pays, et tout commença à changer. [...] Il y avait un étrange silence dans l'air. Les oiseaux par exemple –où étaient-ils passés? On se le demandait, avec surprise et inquiétude. Ils ne venaient plus picorer dans les cours. Les quelques survivants paraissaient moribonds; ils tremblaient, sans plus pouvoir voler. Ce fut un printemps sans voix. A l'aube, qui résonnait naguère du chœur des grives, des colombes, des geais, des roitelets et de cents autres chanteurs, plus un son ne se faisait désormais entendre ; le silence régnait sur les champs, les bois et les marais.» Ainsi commence « Printemps silencieux » de Rachel Carson paru il y a 50 déjà. A travers cet ouvrage, qui demeure une des œuvres fondatrices du mouvement écologiste, Rachel Carson dénonce l'utilisation massive des pesticides en agriculture, notamment du DDT qui sera interdit aux Etats-Unis 10 ans plus tard. Elle explique que pour la première fois au monde, tous les êtres humains sont maintenant en contact avec des produits toxiques, depuis leur conception jusqu'à leur mort. Elle précise que les innombrables petites expositions, quotidiennes et permanentes, peuvent s'avérer plus dangereuses encore que les contaminations massives. Elle met en avant le fait, en outre que les êtres vivants n'ont pas le temps de s'adapter à ces « éléments inconnus », d'autant plus qu'un flot continu de produits chimiques nouveaux sort des laboratoires. Elle dit aussi que le revers de la médaille est l'apparition des phénomènes de résistances aux pesticides : « les pesticides ont renforcé l'ennemi que nous voulions abattre ». Elle dénonce enfin les effets cocktails : « Votre saladier peut fort bien contenir une combinaison de deux insecticides ; chacun est inférieur, probablement, au maximum prévu par la loi, mais l'interaction des deux risque de vous être fatale. »⁶

Aujourd'hui la biodiversité, dont l'homme fait partie, est toujours une victime silencieuse des pesticides et les problèmes évoqués par Carson en 1962 sont toujours d'actualité. Certes, les hécatombes ont été refreînées par l'interdiction d'utilisation de certaines substances jugées trop dangereuses telles que le DDT. Mais ils ont fait la place à d'autres molécules aux effets encore plus pernecieux (les néonicotinoïdes, par exemple), comme en témoignent les impacts environnementaux qui subsistent toujours actuellement, par exemple la régression continue de d'un grand nombre d'espèces d'insectes telles que les hyménoptères, pollinisateurs sauvages des plantes cultivées. Ces pertes sont, en effet, visibles à des pas de temps très courts correspondant en général aux périodes de traitement des cultures d'après les témoignages de certains riverains de zones cultivées : « J'habite depuis 37 ans en plein cœur d'un secteur rural, au milieu de cultures de blé et de colza essentiellement, tournesol certaines années. Après une aggravation en ce qui me concerne, de manifestations allergiques devenues chroniques, des voies respiratoires, je constate cette année pour la 1ère fois la présence quotidienne d'insectes morts ou agonisants dans ma maison et mon jardin : abeilles, frelons, une demoiselle, et même des mouches habituellement si coriaces ! J'ai bien sûr établi un lien de cause à effet en cette période de traitement des cultures par pulvérisation et je m'interroge sur le degré de toxicité des produits utilisés par les agriculteurs. Ces derniers sont-ils soumis à des contrôles concernant la composition et les quantités administrées de ces produits (pesticides en particulier), ou agissent-ils en toute liberté ? (je suis tentée de dire "impunité")! .Si la toxicité des produits chimiques utilisés provoque des pathologies chez les cultivateurs, qu'en est-il des conséquences sur la santé des populations exposées également à ces nuages toxiques?!... ». L'Homme utilise les pesticides pour détruire un nombre restreint d'organismes : au maximum 0,1 % de la biodiversité totale de la biosphère continentale actuelle alors que ces mêmes pesticides induisent, à des degrés divers, des perturbations sur tous les êtres vivants exposés directement ou indirectement à ces substances. Si l'on peut se féliciter que 9 des pesticides les plus dangereux (aldrine, chlordane, DDT, dieldrine, endrine, heptachlor, hexachlorobenzène, mirex, toxaphène); qualifiés de POP (Polluants Organiques Persistants) ont été interdits d'utilisation dans bon nombre de pays (signataires de la convention de Stockholm (22 Mai 2001)), il n'en demeure pas moins que régulièrement d'autres pesticides sont rajoutés à cette liste semeuse de mort tristement célèbre (le chlordécone, l'alpha-hexachlorocyclohexane, le bêta-hexachlorocyclohexane, le lindane, et pentachlorobenzène (le 9 mai 2009) et l'endosulfan le 29 Mai 2011). Alors que la plupart des pays ont ratifié cette convention, il est surprenant que d'autres parmi lesquels on compte les USA, l'Italie, ou encore Israël, ne l'aient pas encore fait⁹⁸.

Mais il y a encore plus préoccupant, en Afrique, bien que certains pays soient signataires, les stocks de pesticides périmés et obsolètes sont les principales sources de risque toxique. En 2001, la FAO estimait que 50 000 tonnes de pesticides périmés, majoritairement des POP, étaient stockées dans les pays africains, et que la plupart échappait à tout contrôle. L'abus de pesticides dans certaines pratiques agricoles africaines non contrôlées et dans les autres usages non « conventionnels » comme la pêche, est préjudiciable à la qualité de l'eau, aux organismes aquatiques et à leur consommateur, et les pathologies qui en découlent sont nombreuses et dramatiques⁹⁹. Si dans certains pays dits développés, on note une prise de conscience salutaire mais très ou trop lente, les pays en voie de développement payent un lourd tribut à cette utilisation massive de pesticides. C'est le cas des BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud) où pour assoir leur développement économique l'utilisation de pesticides connaît une augmentation drastique. La biodiversité non content de subir dans ces pays une déforestation massive agonise lentement mais sûrement des assauts chimiques.

Sans être aussi dangereux que les pesticides inscrits sur la liste de la Convention de Stockholm, d'autres pesticides ont également été interdits en France ou dans d'autres pays en raison de leur persistance dans certains compartiments de l'environnement. C'est le cas en France de l'atrazine qualifié de désherbant du maïs et interdit en 2003. Ce pesticide est retrouvé fréquemment avec ses métabolites et presque 10 ans après son interdiction encore aujourd'hui dans les eaux potables distribuées dans les zones de grandes cultures céréalières. L'atrazine est un exemple intéressant de la nécessité d'un nouveau paradigme en écotoxicologie. En effet, il était admis jusqu'à récemment que la dose fait le poison, autrement dit, que les effets physiologiques observés pour une substance chimique donnée sont corrélés à une augmentation de la concentration. Or pour les substances chimiques comme certains pesticides qualifiés de perturbateurs endocriniens, l'effet peut être indépendant de la concentration. Ainsi, de très faibles doses de poisons (pesticides) à des concentrations non décelables par les outils analytiques classiques peuvent engendrer des effets irréversibles, sur le développement, l'appareil

reproducteur, ... (On pourra utilement consulter le rapport du WWF France « Perturbateurs endocriniens et biodiversité ».) L'atrazine est un pesticide perturbateur endocrinien, aussi, il devrait y avoir une tolérance zéro µg/l dans les eaux de boissons, et donc dans les eaux brutes (environnement) servant à la production de cette eau potable !

Ces éléments factuels de l'impact des pesticides sur la biodiversité, y compris sur l'homme, sont-ils les signes précurseurs d'un nouveau scandale sanitaire majeur tel que celui de l'amiante? Pour rappel, l'amiante, matériau « miracle » pour les industriels à l'époque, est toxique. L'inhalation de fibres d'amiante est à l'origine de diverses pathologies (fibrose pulmonaire, cancers broncho-pulmonaires, de la plèvre et des voies digestives). Bien que les dangers de l'amiante aient été identifiés clairement dès le début du XXe siècle (premier cas mortel en 1899), il faudra attendre le milieu des années 1980 et 1990, soit près d'un siècle plus tard, pour que l'utilisation de l'amiante soit interdite dans de nombreux pays. Interdit en France depuis 1997, l'amiante reste présent dans de nombreux bâtiments et équipements. Et d'après l'INRS, le risque amiante reste encore aujourd'hui sous-estimé dans certaines professions qui peuvent y être exposées. Les maladies liées à l'amiante représentent actuellement la deuxième cause de maladies professionnelles et la première cause de décès liés au travail. L'amiante a, de plus, été libéré dans l'environnement en grandes quantités (on l'y retrouve notamment dans les eaux de ruissellement et les sédiments, périodiquement curés et régalez sur les champs dans certaines régions)¹⁰⁰. Combien de temps faudra-t-il pour réaliser qu'il en va de même pour les pesticides ? Que leur impact est perceptible à toutes les échelles : du gène, unité de base du monde vivant à l'écosystème résultant des interactions des êtres vivants entre eux et avec leur environnement. Combien de morts silencieuses avant d'agir, et de réconcilier l'homme avec son environnement ?

Pourtant des solutions existent qui prônent le respect de l'environnement, pas seulement pour le caractère sacré et intouchable qu'on peut se faire de la nature, mais surtout pour le maintien à long terme des services rendus par les écosystèmes qui sont indispensables à notre pérennité et pourtant fortement affectés par les activités humaines. L'ONU a constaté, par exemple en 2005 dans un document appelé l'Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire, que 60% des services rendus gratuitement par la nature sont dégradés¹⁰¹. Plus que des solutions diverses et variées, c'est d'un nouveau paradigme, d'un nouveau lien Homme-Nature qui est nécessaire afin de garantir la pérennité des deux parties. Une nouvelle vision du rapport de l'homme à la nature s'exprime au travers de l'Ingénierie écologique ou exploitation responsable des services rendus gratuitement par les écosystèmes. Il est clair que l'Homme ne peut survivre sans exploiter les ressources naturelles, lesquelles ne sont pas illimitées et pour la plupart non-renouvelables du moins à court terme. On pourrait comparer cela à un réglage des écosystèmes afin qu'ils acquièrent la capacité de s'adapter aux pressions anthropiques mais jusqu'à un certain seuil.

La démarche de la FAO, par exemple, va dans ce sens. Elle prône ce qu'elle appelle l'exploitation durable des cultures (agro-écologie), démarche fondée sur le maintien de l'équilibre écosystémique de l'agro-système. Il s'agit d'augmenter le niveau de productivité, en partant du postulat que le système de production est un écosystème dont l'équilibre doit être maintenu. Il s'agit de «produire plus avec moins», le sol devenant une pièce maîtresse. Ce modèle remet à l'ordre du jour les principes de l'agronomie, laissant la place à de longues rotations de cultures afin de court-circuiter les cycles des ravageurs. Il s'agit de réintroduire dans les assolements les légumineuses (capables de fixer l'azote de l'air dans le sol, épargnant du même coup, pour la culture suivante l'apport d'engrais azoté chimique ou organique) et de faire largement appel aux auxiliaires de cultures. Ce modèle utilise une approche basée sur l'écosystème qui tire parti des contributions de la nature pour renforcer la croissance des cultures – la matière organique des sols, la régulation des débits d'eau, la pollinisation et la prédation naturelles des ravageurs – et qui applique les intrants externes appropriés au bon moment et en quantité adéquate à des variétés culturales améliorées résistant aux changements climatiques et utilisant les éléments nutritifs, l'eau et d'autres intrants externes de manière plus efficace. Les éléments clés de ce modèle permettent aux agriculteurs de faire des économies et endiguent les effets adverses dus à l'usage abusif d'intrants spécifiques¹⁰².

Des expériences récentes en France indiquent clairement qu'il est possible de réduire de façon drastique l'utilisation de pesticides en grandes cultures, et de satisfaire ainsi aux exigences de la loi Grenelle, de réduire de

50% à terme (2018) l'utilisation des pesticides. En 2006, une quinzaine d'agriculteurs expérimentés du réseau RAD-CIVAM ont adopté ces principes, puisqu'ils ont lancé un programme de recherche et développement : le programme Grandes Cultures Economes¹⁰³. Ils ont créé un cahier des charges pour des cultures économes en intrants. L'idée directrice est de renforcer les systèmes de cultures afin de les rendre moins sensibles aux bio-agresseurs et, de ce fait, moins consommateurs d'intrants (notamment pesticides et engrais). Cette approche fondée sur une « utilisation avisée » est celle qui a été adoptée aujourd'hui dans la lutte intégrée contre les ravageurs. Il s'agit d'une gamme de stratégies et de moyens utiles – chimiques, culturels et biologiques réunis en un ensemble écologiquement rationnel, socialement acceptable et économiquement viable. Au cours de la période 2008-2011, le cahier des charges a été testé par 56 agriculteurs du Grand Ouest. En fin de programme, une quarantaine de systèmes de culture a été évaluée à travers une grille d'indicateurs environnementaux qui ont permis un réajustement du cahier des charges. Au terme de ces 3 ans, 23% des exploitations répondent pleinement aux critères du cahier des charges actualisé, alors que seulement 8% respectaient le cahier des charges original. Les exploitations les plus performantes de ce programme ont d'ores et déjà atteint, voire dépassé, les objectifs fixés par les politiques publiques à l'horizon 2020 en matière d'environnement et de réduction du recours aux pesticides.

Dans le même temps, le journal de l'environnement relate le 29 Juin 2012¹⁰⁴, une bonne nouvelle pour les fabricants et vendeurs de pesticides, qui l'est beaucoup moins pour l'environnement : le marché français des pesticides a fortement progressé en 2011. En effet, en 2011, les ventes d'herbicides ont grimpé de 17%, les ventes d'insecticides ont, elles aussi, accusé une hausse de 11%, en revanche, les ventes de fongicides ont reculé de 10%. Au total le «tonnage de substances actives phytosanitaires vendues est en hausse de 1,29% en 2011». L'arrivée sur le marché de nouveaux produits, par exemple le traitement des semences contre les ravageurs, a séduit les agriculteurs puisque les ventes bondissent de 7%, souligne l'UIPP¹⁰⁵. Ce fait doit nous alerter, car si nous pouvons nous satisfaire d'une baisse des volumes épandus, ces nouvelles molécules (néonicotinoïdes) inquiètent les scientifiques, les affaires récentes des formulations commerciales (Poncho®, Gaucho®, Cruiser®) sont là pour nous rappeler que ces produits sont dangereux.

Premier pays agricole européen, la France reste aussi, le plus grand adepte et utilisateur de pesticides. On pourrait parler d'école française des pesticides tellement l'inertie au changement est grande ! En 2010, avec un chiffre d'affaires de 1,9 Md€, la France précédait l'Allemagne (1,25 Md€), l'Italie (807 M€), la Grande-Bretagne (589 M€) et la Pologne (455 M€), selon les chiffres communiqués par l'UIPP.

Au niveau mondial, le marché des pesticides est en nette progression, +15% en valeur. L'Europe est la première région utilisatrice de pesticides (27,7% du chiffre d'affaires), devant l'Asie (26,4%), l'Amérique latine (23%), l'Amérique du Nord (19%) et l'Afrique (4%). «Dans la plupart des régions du monde, nous avons des croissances supérieures à 10% car les agriculteurs sont encore en phase de développement, afin de produire plus pour nourrir leur population», souligne Jean-Charles Bocquet. Une forte progression enregistrée alors que la présence des OGM dans de nombreux pays est censée réduire l'usage des pesticides ! Sur 6 ans, entre 2006 et 2011, le chiffre d'affaires mondial a augmenté de 44,7%, passant de 30,4 à 44 Md\$ (34,7 Md€) !¹⁰⁶

Se passer des pesticides tout en garantissant une certaine productivité ne semble plus être une utopie et ne justifie donc plus que ces substances soient toujours aussi activement utilisées, connaissant à présent une partie des effets néfastes qu'ils engendrent sur la biodiversité dont, rappelons-le, nous faisons pleinement partie. C'est à présent qu'il faut prendre des mesures réglementaires, mais aussi morales vis-à-vis de ces substances chimiques, mais pas dans un demi-siècle comme ce fut le cas de l'amiante dont les conséquences se font toujours ressentir actuellement.

Mais quand on voit l'inertie au changement, c'est à se demander à qui profite le crime !

RÉFÉRENCES

- 1- Ramade F. (2005). *Elément d'écologie. Ecologie appliquée*. 6ème édition. Paris, France : Dunod, 864 p.
- 2- Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., & Voltz, M. (éditeurs) (2005). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport. INRA et Cemagref, France, 64 p.
- 3- UICN,
http://www.iucn.org/fr/faisons/biodiversite/a_propos_de_la_biodiversite/
- 4- Comité français UICN,
<http://www.uicn.fr/>
- 5- WWF (2012). *Rapport Planète vivante 2012 Synthèse*. Gland, Suisse, 160 p.
- 6- Carson, R. (2009). *Printemps silencieux (Silent spring)*. Introduction d'Al Gore. Marseille, France : Wildproject, 283 p. (Collection Domaine Sauvage).
- 7- Rattner, B.A. (2009). History of wildlife toxicology. *Ecotoxicology*, 18, 773-783.
- 8- Isenring, R. (2010). *Les pesticides et la perte de biodiversité*. Rapport PAN Europe (Pesticide Action Network), Bruxelles, Belgique, 31 p.
- 9- Organisation TEDX,
<http://www.endocrinedisruption.com/home.php>
- 10- WWF (2011). *Perturbateur endocrinien et biodiversité*. Paris, France, 24 p.
- 11- UICN. *Bilan général 2004-2010 de la stratégie nationale pour la biodiversité. Recommandations pour une nouvelle stratégie*,
http://www.uicn.fr/IMG/pdf/Bilan_SNB_04-10_UICN_France.pdf
- 12- Direction de l'information légale et administrative,
<http://www.vie-publique.fr/actualite/dossier/environnement-grenelle/environnement-trois-ans-apres-vers-derniere-etape-du-grenelle.html>
- 13- *écophyto 2018*,
<http://agriculture.gouv.fr/Ecophyto-Kesako>
- 14- *Chiffres pesticides* Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie,
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Questions-Reponses-sur-les,3225-.html>
- 15- IFEN (2006). *Les pesticides dans les eaux. Données 2003 et 2004*. Orléans, France, 40 p.
- 16- Bertrand, J.A., Abarnou, A., Bocquené, G., Chiffolleau, J.F. & Reynal, L. (2009). *Diagnostic de la contamination chimique de la faune halieutique des littoraux des Antilles françaises*. Ifremer, Guadeloupe et Martinique, 139 p.
- 17- WWF (2011). *L'état des eaux, Derrière une information officielle déficiente, des évaluations et des données inquiétantes*. Paris, France, 36 p.
- 18- Bommelaer, O., Devaux, J. (2011). *Études & documents. Coûts des principales pollutions agricoles de l'eau*. CGDD. Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable. La Défense, France, 32 p.
- 19- AERMC (2010). *L'état des eaux des bassins Rhône-Méditerranée et de Corse*. France, 27 p.
- 20- Réseau SAGIR de l'ONCFS,
<http://www.oncfs.gouv.fr/Reseau-SAGIR-ru105/Actualites-sanitaires-ar1178>
- 21- Le Figaro.fr « Les OGM ont perdu la guerre contre les mauvaises herbes »,
<http://www.lefigaro.fr/environnement/2012/05/25/01029-20120525ARTFIG00710-les-ogm-ont-perdu-la-guerre-contre-les-mauvaises-herbes.php>
- 22- Powles, S.B. (2010). Gene amplification delivers glyphosate-resistant weed evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United-States of America (PNAS)*, 107, 955-956.
- 23- Actu-environnement.com « Monsanto jugé responsable de l'intoxication d'un agriculteur par un pesticide »,
<http://www.actu-environnement.com/ae/news/monsato-jugement-intoxication-pesticide-agriculteur-14933.php4>
- 24- *Phyto-victimes*,
<http://www.phyto-victimes.fr>

- 25- Observatoire des Résidus de Pesticides (ORP), <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/>
- 26- Dubois, A. & Lacouture L. (2011). Études & documents. Bilan de présence de micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux. Période 2007-2009. GGDD. Service de l'observation et des statistiques, La Défense, France, 60 p.
- 27- IAU et ORS (2010). Produits phytosanitaires : risques pour l'environnement et la santé - Connaissances des usages en zone non agricole. Paris, France, 61 p.
- 28- ANSES, <http://www.afsset.fr/index.php?pageid=1405&parentid=424>
- 29- INERIS, http://www.ineris.fr/pesticides/index_php.php
- 30- Veillerette, F. (2002). Pesticides. Le piège se referme. Mens, France : Terre Vivante, 160 p.
- 31- Gatignol, C., Étienne, J.C. (2010). Rapport Pesticides et santé. Assemblée nationale et Sénat. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologique, France, 262 p.
- 32- Organisation Mondiale de la Santé (OMS), <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr50/fr/index.html>
- 33- FR CIVAM et WWF - Dossier de presse - Grandes cultures économes, <http://www.wwf.fr/s-informer/actualites/reduire-de-50-l-usage-des-pesticides-en-grandes-cultures-des-aujourd-hui-c-est-possible-preuve-faite-par-le-programme-grandes-cultures-economes>
- 34- Note de suivi Plan Ecophyto - Tendances de 2008 à 2010 du recours aux produits phytopharmaceutiques, <http://agriculture.gouv.fr/Note-de-suivi-du-plan-2011>
- 35- EU Pesticide Data Base, http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm
- 36- Rapport d'information sur les pesticides présenté par Alain Gest - Assemblée Nationale (2009), <http://www.assemblee-nationale.fr/13/rap-info/i1702.asp>
- 37- AIRPARIF (2007). Evaluation des concentrations en pesticides dans l'eia francilien: campagne exploratoire. Paris, France, 54 p.
- 38- Direction de l'information légale et administrative PAC, <http://www.vie-publique.fr/decouverte-institutions/union-europeenne/action/politiques-communautaires/qu-est-ce-que-politique-agricole-commune-pac.html>
- 39- France diplomatie REACH, <http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/enjeux-internationaux/environnement-et-developpement/produits-chimiques/article/le-reglement-europeen-reach>
- 40- ANSM Autorisation de mise sur le marché, [http://www.afssaps.fr/Activites/Autorisations-de-mise-sur-le-marche/Definition-et-modalite-des-AMM/\(offset\)/o](http://www.afssaps.fr/Activites/Autorisations-de-mise-sur-le-marche/Definition-et-modalite-des-AMM/(offset)/o)
- 41- WWF (2011). Eau de boisson. Paris, France, 42 p.
- 42- Eau France DCE, http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique15&id_article=35
- 43- Jacquet, F., Butault, J-P. & Guichard, L. (2011). An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. *Ecological Economics*, 70, 1638-1648.
- 44- Butault, J.P., Delame, N., Jacquet, F. & Zardet, G. (2011). L'utilisation des pesticides en France : état des lieux et perspectives de réduction, http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_nese11035A1.pdf
- 45- Générations futures et PAN Europe (2012). Re-soumission: Une homologation européenne des pesticides défailante?. France, 24 p.
- 46- Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R., Roger-Estrade, J., Sarthou, J.P. & Trommetter, M. (éditeurs), (2008). Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. INRA, France, 116 p.
- 47- Geiger, F., & al. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11, 97-105.
- 48- UNESCO, http://www.unesco.org/mab/doc/icc/2009/f_agroecosystems.pdf
- 49- Tilman, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292, 281-284.
- 50- Fried, G., Chauvel, B. & Reboud, X. (2008). Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies : vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovations Agronomique*, 3, 15-26.
- 51- Fox, J.E., Gullledge, J., Engelhaupt, E., Burow, M. E. & McLachlan J.A. (2007). Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *PNAS*, 24, 10282-10287.

- 52- Grant, I.F. & Tingle, C.C.D. (éditeurs) (2002) Méthodes de suivi écologique pour évaluer les effets des pesticides dans les Tropiques. Natural Resources Institute, Chatham, R-U, 266 p.
- 53- Imfeld, G. & Vuilleumier, S. (2012). Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review. *European Journal of Soil Biology*, 49, 22-30.
- 54- Science.gouv.fr :
<http://www.science.gouv.fr/fr/dossiers/bdd/page/4/res/2856/la-disparition-des-abeilles-enquete/>
- 55- Blacquièrre, T., Smagghe, G., van Gestel, C. A. M. & Mommaerts, V. (2012). Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*, 19, 207-215.
- 56- Biesmeijer, J. C. et al. (2006). Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313, 351 – 354
- 57- Henry, M. & al. (2012). A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science*, 336, 348.
- 58- Tapparo, A. & al. (2012). Assessment of the Environmental Exposure of Honeybees to Particulate Matter Containing Neonicotinoid Insecticides Coming from Corn Coated Seeds. *Environmental Science and Technology*, 46, 2592-2599.
- 59- Hopwood, J., Vaughan, M., Shepherd, M., Biddinger, D., Mader, E., Black, S.H. & Mazzacano, C. (2012). Are neonicotinoid are killing bees?. The Xerces Society for invertebrate conservation, USA, 44 p.
- 60- The systemic insecticides : a disaster in a making,
<http://disasterinthemaking.com/> et <http://www.farmlandbirds.net/fr/taxonomy/term/5>
- 61- Berny, P. (2010). Animal poisoning in Europe. Part 3: Wildlife. *The veterinary journal*, 183, 260–265
- 62- LPO,
<http://www.lpo.fr/communiqu%C3%A9/300-millions-doiseaux-disparus-en-30-ans-quelle-pac-pour-demain>
- 63- Kuijper, D. P. J., Oosterveld, E. & Wymenga, E. (2009). Decline and potential recovery of the European grey partridge (*Perdix perdix*) population—a review. *European Journal of Wildlife Research*, 55, 455–463.
- 64- Walker, C. H. (2003). Neurotoxic pesticide and behavioural effects upon bird. *Ecotoxicology*, 12, 307-316
- 65- Libération : « Des moustiques et des hommes »,
<http://www.liberation.fr/sciences/01012377930-des-moustiques-et-des-hommes>
- 66- Poulin, B., Lefebvre, G. & Paz, L. (2010). Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology*, 47, 884-889.
- 67- Tourenq, C., Sadoul, N., Beck, N., Mesléard, F. & Martin, J.L. (2003). Effects of cropping practices on the use of rice fields by waterbirds in the Camargue, France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95, 543–549.
- 68- Berny, P. & Gaillet, J.R. (2008). Acute poisoning of red kites (*Milvus milvus*) in France: Data from the SAGIR network. *Journal of Wildlife Diseases*, 44, 417– 426.
- 69- Coeurdassier, M. & al. (2012). The diet of migrant Red Kites *Milvus milvus* during a Water Vole *Arvicola terrestris* outbreak in eastern France and the associated risk of secondary poisoning by the rodenticide bromadiolone. *IBIS The International Journal of Avian Science*, 154, 136–146.
- 70- La liste rouge des espèces menacées en France
<http://www.uicn.fr/Liste-rouge-France.html>
- 71- Liste rouge IUCN vautour moine,
<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/106003380/o>
- 72- Hernandez, M. & Margalida, A. (2008). Pesticide abuse in Europe: effects on the Cinereous vulture (*Aegypius monachus*) population in Spain. *Ecotoxicology*, 17, 264–272.
- 73- Berny, P. (2010). Animal poisoning in Europe. Part 3: Companion animal. *The veterinary journal*, 183, 255–259.
- 74- Berny, P. (2010). Animal poisoning in Europe. Part 3: Farm livestock and poultry. *The veterinary journal*, 183, 249–254.
- 75- Convention de Ramsar,
http://www.ramsar.org/cda/fr/ramsar-april12index/main/ramsar/1%5E25700_4000_1__
- 76- Widenfalk, A., Bertilsson, S., Sundh, I. & Goedkoop, W. (2008). Effects of pesticides on community composition and activity of sediment microbes responses at various levels of microbial community organization. *Environmental Pollution*, 152, 576-584.
- 77- Islam, M. S. & Tanaka, M. (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution*, 48, 624–649.

- 78- Hayes, T.B. & al. (2011). Demasculinization and feminization of male gonads by atrazine: Consistent effects across vertebrate classes. *Journal of Steroid Biochemistry & Molecular Biology*, 127, 64–73.
- 79- Orton, F., Carr, J.A. & Handy, R.D. (2006). Effects of nitrate and atrazine on larval development and sexual differentiation in the northern leopard frog *Rana pipiens*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25, 65–71.
- 80- Park, D., Hempleman, S.C. & Propper, C.R. (2001). Endosulfan Exposure Disrupts Pheromonal Systems in the Red-Spotted Newt: A Mechanism for Subtle Effects of Environmental Chemicals. *Environmental Health Perspectives*, 109, 669–673.
- 81- Park, D. & Propper (2002). Endosulfan Affects Pheromonal Detection and Glands in the Male Red-Spotted Newt, *Notophthalmus viridescens*. *Environ. Contam. Toxicol.*, 69, 609 – 616.
- 82- Kelly, D.W., Poulin, R., Tompkins, D. M. & Townsend, C.R. (2010). Synergistic effects of glyphosate formulation and parasite infection on fish malformations and survival. *Journal of Applied Ecology*, 47, 498–504.
- 83- Mandrillon, A.L. & Saglio, P. (2005). Une revue des effets des pesticides sur la morphologie, le comportement et les traits d'histoire de vie des amphibiens. *Bulletin de la Société Héprétologique de France*, 116, 5-29.
- 84- Lemarchand, C., Rosoux, R. & Berny, P. (2010). Organochlorine pesticides, PCBs, heavy metals and anticoagulant rodenticides in tissues of Eurasian otters (*Lutra lutra*) from upper Loire River catchment (France). *Chemosphere*, 80, 1120–1124.
- 85- Roche, H., Vollaire, Y., Persic, A., Buet, A., Oliveira-Ribeiro, C., Coulet, E., Banas, B. & Ramade, F. (2009). Organochlorines in the Vaccares Lagoon trophic web (Biosphere Reserve of Camargue, France). *Environmental Pollution*, 157, 2493–2506.
- 86- Fleeger, J.W., Carman, K.R. & Nisbet, R.M. (2003). Indirect effects of contaminants in aquatic ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 317, 207–233.
- 87- Liess, M. & Carsten von der ohe, P. (2005). Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24, 954–965.
- 88- Relyea, R.A. (2005). The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity of aquatic communities. *Ecological Applications*, 15, 618–627.
- 89- Relyea, R.A. (2009). A cocktail of contaminants: how mixtures of pesticides at low concentrations affect aquatic communities. *Oecologia*, 159, 363–376.
- 90- Lewis, S.E. & al. (2009). Herbicides: A new threat to the Great Barrier Reef. *Environmental Pollution*, 157, 2470–2484.
- 91- Roche, H., Salvat, B. & Ramada, F. (2011). Assessment of the pesticides pollution of coral reefs communities from French Polynesia. *Revue d'écologie Terre et Vie*, 66.
- 92- Ramade, F. & Roche, H. (2006). Effets des polluants sur les écosystèmes récifaux. *Revue d'écologie Terre et Vie*, 61.
- 93- Bertoncini, A.P., Machon, N., Pavoine, S. & Muratet, A. (2012). Local gardening practices shape urban lawn floristic communities. *Landscape and Urban Planning*, 105, 53-61.
- 94- IAU et ORS (2010). Produits phytosanitaires : risques pour l'environnement et la santé - Connaissances des usages en zone non agricole. Paris, France, 61 p.
- 95- Actu-environnement : « Les produits phyto interdits ou encadrés dans les espaces verts et certains lieux accueillant du public », <http://www.actu-environnement.com/ae/news/produits-phytopharmaceutiques-espaces-verts-ecoles-creches-hopitaux-13153.php4>
- 96- Campagne écophyto 2018 : « L'abus des pesticides est dangereux pour tous les habitants de votre jardin », <http://www.jardiner-autrement.fr/la-campagne>
- 97- Le magazine de la ville de Paris, N°43 Été 2012
- 98- Convention de Stochkolm, <http://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/tabid/252/Default.aspx>
- 99- Roche, H., Tidou, A. (2009). First Ecotoxicological Assessment Assay in a Hydroelectric Reservoir: The Lake Taabo (CA te d'Ivoire). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82, 322–326.
- 100- INRS, <http://www.inrs.fr/accueil>
- 101- Evaluation des écosystèmes pour le millénaire, <http://www.maweb.org/fr/index.aspx>
- 102- FAO, <http://www.fao.org/agriculture/crops/themes-principaux/theme/spi/fr/>

103- WWF,

<http://www.wwf.fr/s-informer/actualites/reduire-de-50-l-usage-des-pesticides-en-grandes-cultures-des-aujourd-hui-c-est-possible-preuve-faite-par-le-programme-grandes-cultures-economes>

104- Journal de l'environnement « Les pesticides, ça commence à bien faire! »,

<http://www.journaldelenvironnement.net/article/les-pesticides-ca-commence-a-bien-faire,29702>

105- UIPP, Communiqué,

<http://www.uipp.org/Actualites/Communique>

106- UIPP, Chiffres clés,

<http://www.uipp.org/Services-pro/Chiffres-cles/Reperes-monde-et-Europe>

Biodiversité : victime silencieuse des pesticides



Notre raison d'être

Arrêter la dégradation de l'environnement dans le monde et construire un avenir où les êtres humains pourront vivre en harmonie avec la nature.

www.wwf.fr

© 1986 Panda Symbol WWF - World Wide Fund For nature (Formerly World Wildlife Fund)
® "WWF" & "living planet" are WWF Registered Trademarks / "WWF" & "Pour une planète vivante" sont des marques déposées.

WWF - France, 1 carrefour de Longchamp, 75016 Paris.
Retrouvez-nous sur www.wwf.fr et planete-attitude.fr, le premier réseau social francophone nature et environnement.
Produit certifié FSC 100% recyclé