

Les pesticides dans l'air : quels enjeux ?

Florent LAMIOT*

NDLR : D'après l'article paru dans le n° 59 (2^e semestre 2000) de « Air pur », et reproduit avec son aimable autorisation.

Dès 1992, la Direction de l'environnement du Conseil régional a été alertée sur les effets néfastes des pesticides. Mon propos n'aura pas pour objectif de désigner des coupables ou de stigmatiser les problèmes. L'agriculture n'est pas le seul acteur qui utilise des pesticides. En effet, le jardinier particulier, les espaces verts urbains et même l'ONF utilisent aussi des tonnages très importants de produits et ce, pas toujours dans les conditions idéales.

Il ne s'agit pas de produits anodins. Le zyklon utilisé dans les douches des chambres à gaz était bien un pesticide. Pendant la guerre du Viêt Nam, on a aussi énormément utilisé ces produits qui ont encore des conséquences aujourd'hui sur la santé des populations. Le phosgène a été utilisé par l'Irak dans sa guerre chimique contre l'Iran ou contre les populations kurdes. Cette substance est couramment employée pour traiter les cultures de céréales ou de betteraves.

Avec 95 000 tonnes répandues chaque année, la France est le troisième consommateur mondial après les États-Unis et le Japon (Figure 1).

Actuellement 900 substances actives sont homologuées en France. Elles entrent dans la composition de 10 000 formules différentes. L'agriculteur français répand, en moyenne, 5 kg de produits différents par hectare.

Quelques définitions

Le terme pesticide (littéralement *qui tue les « pestes »*), désigne généralement toutes les substances ou des préparations utilisées pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes vivants jugés indésirables ou nuisibles pour les plantes et les animaux par l'homme (plantes, animaux

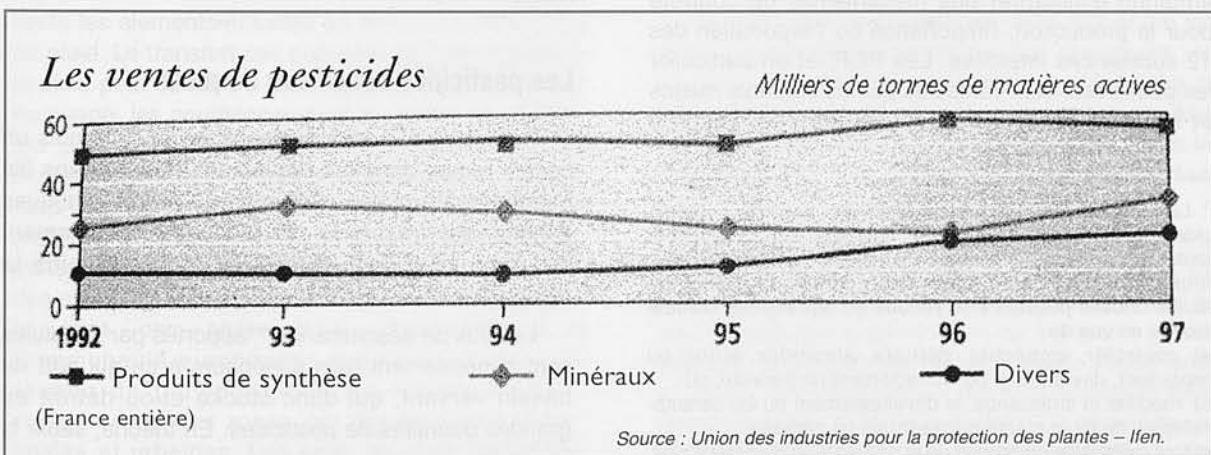


Figure 1.
Ventes de pesticides. France entière 1992-1997.

* Conseil régional Nord-Pas-de-Calais.

parasites, champignons ou bactéries). Il s'agit donc, par définition, de produits toxiques*.

Par extension il peut s'agir de produits de protection du bois (fongicides et insecticides).

On distingue généralement les « phytosanitaires » (ou « phyto-pharmaceutiques ») utilisés en agriculture, sylviculture, horticulture, à fin de « protection des plantes », les antiparasitaires pour animaux d'élevage (y compris les poissons), les pesticides non agricoles. Ces produits sont classés selon leur cible : insecticides (insectes), fongicides (moisissures), viricides (virus), herbicides (végétaux)...

La notion de « biocide » – il ne s'agit pas de produits « bio » mais ce terme décrit bien ce qu'il désigne : un produit destiné à tuer (-cide) des organismes vivants (bio-) –, plus récente et plus générale, englobe notamment les pesticides non agricoles (utilisés dans les contextes industriel, agroalimentaire et domestique) et toutes les substances désinfectantes (par exemple : l'eau de Javel). Le terme « biocide » (recouvrant notamment l'ancienne appellation « pesticide à usage non agricole ») et sa définition sont repris dans la directive 98/8/CE du Parlement européen et du Conseil du 16-2-98 concernant la mise sur le marché des produits biocides.

La réglementation transfrontière interpelle les **polluants organiques persistants (POP)**. Ces produits présents à des doses indétectables dans le milieu naturel peuvent se concentrer pour atteindre des taux toxiques dans la chair, et en particulier la graisse des animaux à sang chaud et des hommes. A ce titre, ils ont fait l'objet d'un accord international signé le 10 décembre 2000 à Johannesburg. Cette convention vise à interdire ou à limiter l'usage de 12 POP qui sont : aldrine, chlorane, dieldrine, endrine, heptachlore, mirex, toxaphène, hexachlorobenzène, PCB, DDT, dioxines et furanes. Cet accord sert de base pour une nouvelle convention qui doit être signée à Stockholm en mai 2001. Elle a pour ambition d'instaurer des mécanismes de contrôle pour la production, l'importation ou l'exportation des 12 substances interdites. Les POP, et en particulier les pesticides, sont véhiculés par les courants marins et les flux aériens. On les retrouve sur toute la

* La loi canadienne donne la définition suivante : « pesticide désigne tout produit, tout dispositif, tout organisme, toute substance ou toute chose ou composé de tous produits, tous dispositifs, tous organismes, toutes substances ou toutes choses pouvant être vendus ou représentés comme moyen en vue de

a) contrôler, empêcher, détruire, amoindrir, attirer ou repousser, directement ou indirectement un parasite, ou
b) modifier la croissance, le développement ou les caractéristiques de toute plante qui n'est pas un parasite, et tout métabolite ou produit de la dégradation d'un tel produit, dispositif, organisme, d'une telle substance ou autre chose et s'entend également de tout produit, tout dispositif, tout organisme, toute substance ou toute autre chose qui doit être enregistré comme produit antiparasitaire en vertu de la Loi sur les produits antiparasitaires, et tout métabolite ou produit de la dégradation d'un tel produit, dispositif, organisme, d'une telle substance ou d'une telle chose ».

Phytosanitaires :

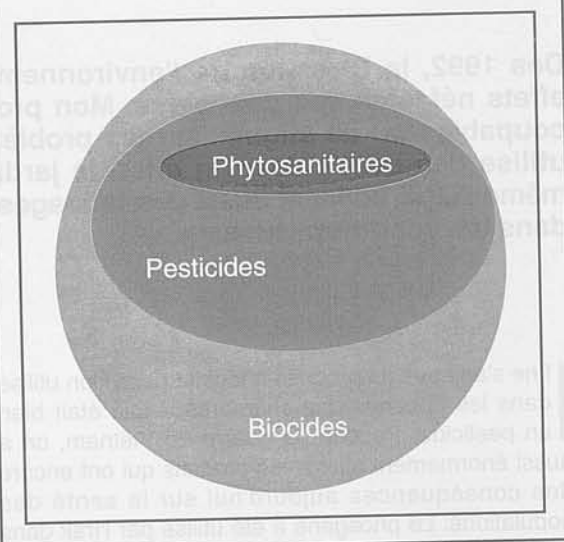
contre les ennemis des plantes

Pesticides :

contre les parasites, ravageurs ou destructeurs

Biocides :

médicaments désinfectants, produits contre les champignons, la faune, la flore, le prion, etc.



planète, y compris dans les endroits les plus reculés, a priori éloignés de toute source de pollution. Ainsi a-t-on relevé dans le lait des femmes inuit du nord-Québec parmi les plus hauts niveaux d'organochlorés jamais relevés chez l'homme. Les phoques, baleines, manchots sont généralement très contaminés.

Les pesticides dans l'eau de pluie

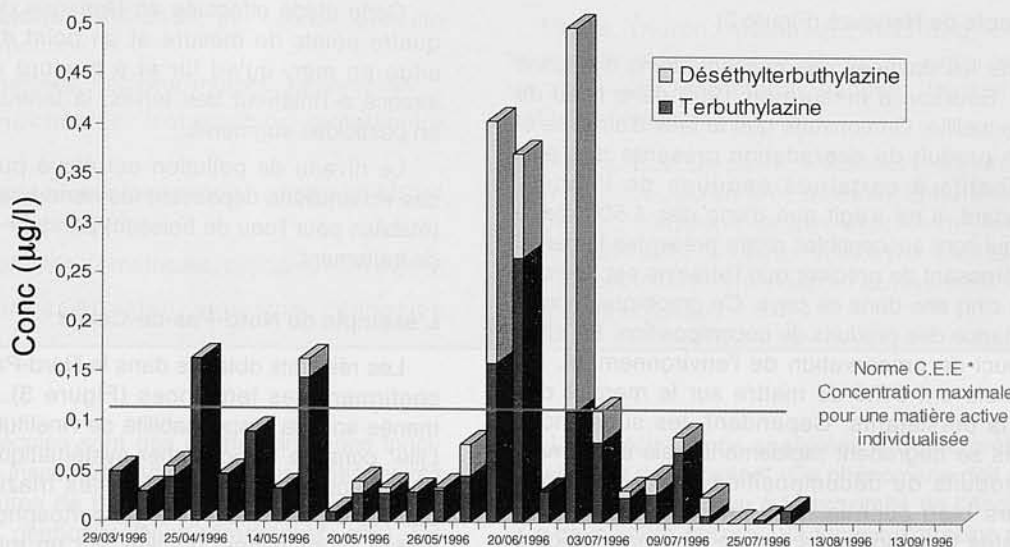
Pesticides et herbicides sont identifiés depuis un certain temps dans les eaux courantes ou dans les nappes souterraines. Cependant, depuis quelques années, des traces de ces produits ont également été retrouvées dans les eaux de pluie comme le montre une étude américaine**).

Les flux de désherbants*** apportés par les pluies sont généralement bien supérieurs à ce qui sort du bassin versant, qui donc stocke et/ou détruit de grandes quantités de pesticides. En théorie, seule la

** Source : *Wet Atmospheric Deposition of Pesticides in Minnesota, 1989-94. Originally published as Water-Resources Investigations Report 97-4026.*

*** Les composés les plus fréquents sont des herbicides : alachlor, atrazine, cyanazine, et métolachlor.

Terbutylazine et son principal métabolite déséthylterbutylazine dans l'eau de pluie (Hanovre, 1996 - C. Bourbon)



* Résidus de produits phytosanitaires dans les eaux destinées à la consommation

Figure 2.
Des mesures de pesticides dans l'eau de pluie à Hanovre (C. Bourbon).

plante doit bénéficier des produits épandus ; en pratique, le sol, les eaux souterraines et l'atmosphère constituent des réservoirs dans lesquels s'accumulent les produits utilisés.

La présence de pesticides dans l'eau de pluie indique une contamination de l'atmosphère mais seuls les éléments solubles se retrouvent dans l'eau de pluie. Le transfert des polluants de l'atmosphère à la pluie peut se faire à deux niveaux : soit au niveau du nuage, les gouttelettes sont chargées de produits qui peuvent avoir une origine locale en cas de convection (mouvements verticaux) forte, comme dans le cas d'orages. Le plus souvent, les traces de biocides trouvées dans les nuages résultent d'un transport à moyenne ou longue distance. L'impureté des pluies avait été mise en évidence au moment de la « crise » des « pluies acides ». À ce moment là, la Communauté européenne avait mis en place un réseau de pluviographes (le réseau MERA*) installés dans des zones loin des émissions industrielles et urbaines. Les eaux de pluie recueillies

permettent de mesurer la composition chimique de la pluie et donc d'évaluer les transports de polluants. Pour l'instant, ce dispositif ne procède pas à la mesure des biocides en routine mais, depuis la convention d'Aarhus, il est possible que ce réseau participe à l'évaluation de la maîtrise des POP.

La recherche des pesticides dans l'air coûte très cher et nécessite des protocoles très complexes ; les teneurs estimées sont très faibles, de l'ordre du nanogramme. C'est pourquoi on les recherche dans l'eau de préférence. L'inconvénient est que seuls les pesticides qui sont solubles sont retrouvés dans l'eau.

Les trois unités de mesure sont le microgramme par litre ou le microgramme par mètre carré ou par an. La première d'entre elles met plutôt en valeur les pics de pollution à un moment où il y a une grande quantité de pesticides par litre d'eau. Cette unité souligne la localisation – dans le temps et dans l'espace – des pics de pollution. La deuxième en mesurant les quantités reçues au sol, va plutôt effectuer un lissage. La troisième unité donne une représentation pondérée des tendances annuelles qui tempère les effets de pics.

Toutes les pluies ne sont pas collectées, et une (faible) partie de l'échantillon peut être évaporée.

* Plaisance H. Étude de la composition chimique des précipitations en France à partir du réseau de mesures des retombées atmosphériques MERA. Thèse soutenue devant l'Université de Technologie de Compiègne 1996 : 249 p.

Des pluies faibles et brèves présentent des teneurs plus élevées, particulièrement s'il s'agit de pluies printanières ou de début d'été précédées d'une longue période sèche. L'analyse des résultats doit être complétée par l'examen de la pluviométrie des différentes régions.

L'exemple de Hanovre (Figure 2)

présente les données des concentrations d'atrazine que C. Bourbon a mesuré en 1996 dans l'eau de pluie recueillie. On constate que le taux d'atrazine et de son produit de dégradation présente des pics significatifs à certaines époques de l'année. Cependant, il ne s'agit que d'une des 1 500 molécules qui sont susceptibles d'être présentes là-bas. Il est intéressant de préciser que l'atrazine est interdite depuis cinq ans dans ce pays. Ce graphique montre l'importance des produits de décomposition. En effet, par souci de préservation de l'environnement, les industriels ont évité de mettre sur le marché des produits persistants. Cependant, les substances utilisées se dégradent rapidement mais en formant des produits de décomposition qui ne sont pas toujours bien connus. Ces métabolites ont des propriétés toxicologiques qui ne sont pas toujours bien identifiées.

L'exemple de la Bretagne

L'INRA de Rennes effectue des mesures dans les eaux de pluie depuis 1995. Les prélèvements avaient été effectués dans plusieurs sites. À Trémargat, village du centre de la Bretagne, les agriculteurs se refusent

à utiliser les pesticides. Or, les mesures effectuées dans l'eau de pluie révélaient des taux proches des maximums admissibles en atrazine et en alachlor et même un taux atteignant la valeur de 100 ng/l en dinoterb (pesticide actuellement interdit). Six pesticides ont été détectés dans l'eau de pluie qui normalement devait en être exempte.

Cette étude effectuée en Bretagne démontre sur quatre points de mesure et un point de référence situé en mer, qu'au fur et à mesure que le vent avance à l'intérieur des terres, la teneur des pluies en pesticides augmente.

Le niveau de pollution est élevé puisque 80 % des échantillons dépassent les normes européennes (établies pour l'eau de boisson) pendant les périodes de traitement.

L'exemple du Nord-Pas-de-Calais

Les résultats obtenus dans le Nord-Pas-de-Calais confirment ces tendances (Figure 3). Une étude menée sous la responsabilité de l'Institut Pasteur de Lille* consiste à rechercher systématiquement 70 à 80 molécules (parmi les familles triazines, urées, azoles, organochlorés, organophosphorés, carbamates, morpholines, uraciles sur un total d'environ 500 à 700 matières actives potentiellement utilisées dans la région) sur cinq points de mesures répartis sur le territoire (Berck, Gravelines, Lillers, Lille, Cambrai).

* Picque E. Étude sur la présence de pesticides dans les eaux de pluies. *Air Pur*, 2^e semestre 2000 ; 59 : 18.

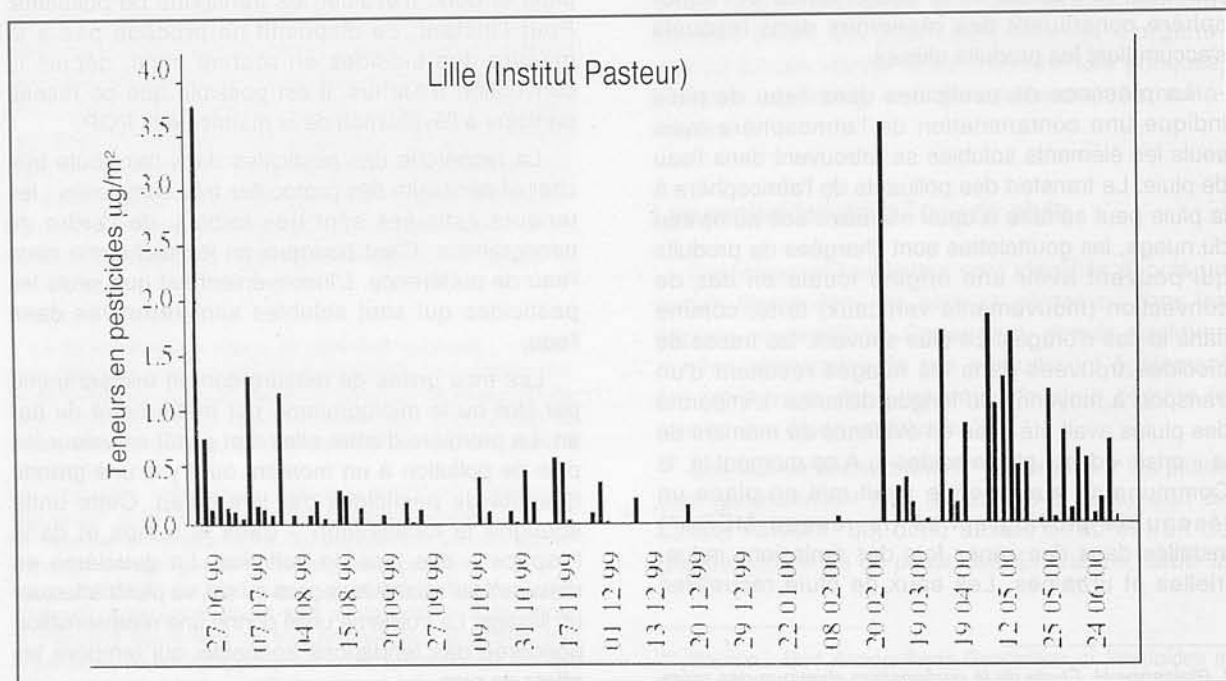


Figure 3.
Quantité recueillie quotidiennement dans les pluies de juin 1999 à juin 2000
(sur 80 substances recherchées).

Molécules recherchées

(Institut Pasteur de Lille)

Azoles. Flutriafol, époxiconazol, tébuconazol, fluzilazol, penconazol, propiconazol, tétraconazol, thiabendazol, hexaconazol, prochloraze, diniconazol, difénoconazol, cyproconazol.

Carbamates. Aldicarbe, pirimicarbe, prosulfocarbe, carbofuran.

Morpholines. Fempropimorphe, fempropidin.

Organochlorés. Métazachlor, métolachlor, alachlor.

Phénoxy alcanœiques (non hydrolysés) MCPA, MCPP, 2-4 D, dicamba.

Phosphorés. Diméthoate, oxydéméthon méthyl.

Triazines. Atrazine, simazine, cyanazine,

propazine, terbuthylazine, terbutryn, déséthylatrazine, déisopropylatrazine, hydroxyatrazine, hydroxyterbuthylazine, déséthylterbuthylazine, amétryn, terbumeton, secbumeton, hydroxysimazine, prométryn.

Uraciles. Bromacile, lénacile.

Urées. Diuron, métabenzthiazuron, chlorotoluron, métobromuron, métoxuron, isoproturon, monodesméthylisoproturon, néburon, metsulfuron méthyle, diméfuron.

Divers. Éthofumésate, imazaquin, métribuzin, propyzamide, aclonifen, butralin, diflufénican, fluroxypyr, fluazifop-p-buthyl, cyprodinil, carben-dazime, dinoseb, dinoterb, bromoxynil, bentazone, ioxynil, métribuzine, chloridazon, azoxystrobin, oxadiazon, hexazinone.

Ces molécules sont des désherbants, des fongicides et des insecticides utilisés par les gestionnaires d'infrastructures de transport (DDE, SNCF, SANEF, communes, gestionnaires d'aérodromes, etc.), les jardiniers privés ou municipaux, les zones d'activité et l'agriculture...

Toutes les molécules ne sont pas recherchées, seules celles qui sont solubles dans l'eau et présentes dans la pluie, et seules celles susceptibles d'être analysées par le procédé retenu sont quantifiées et déterminées dans le cadre de cette étude.

Les pluies sont échantillonnées séquentiellement de manière à pouvoir interpréter les résultats au niveau de l'averse. Trente-sept molécules ont été détectées, sur 80 recherchées, avec surtout des désherbants (isoproturon, atrazine et ses sous-produits, diuron).

Pour 70 % environ des mesures, la teneur en molécules actives et en quelques molécules de dégradation reste inférieure à 0,1 µg/l (= à titre de comparaison, la norme pour l'eau potable pour une molécule).

D'avril à mi-juillet, les teneurs augmentent considérablement avec un petit pic en automne (octobre-novembre).

De mars à juillet 2000, des pics importants de contamination apparaissent, probablement en relation avec les périodes de traitement. Une interprétation plus précise des résultats devrait intégrer les caractéristiques pluviométriques : quantités de pluie et types d'averses...

Comme à Strasbourg et Rennes, les précipitations lilloises révèlent des traces de pesticides utilisés aussi bien à la ville qu'à la campagne. En effet, en ville, les jardins, les infrastructures utilisent des désherbants. L'imperméabilisation du sol urbain se traduit par des épandages assez importants de fongicides contre les mousses, etc.

Les précipitations analysées à Berck présentent également de l'atrazine*. Ce phénomène doit être dû à un vent de terre ou à la proximité de l'Angleterre. Ce pays utilise encore 122 tonnes d'atrazine par an. Il est aussi possible que cette pollution provienne de Normandie ou de Bretagne. La pollution arrive plutôt au printemps et en été, avec des pics en juin. Les teneurs observées sont moins élevées qu'à Lille, mais les pluies sont plus abondantes et plus fréquentes. Le total annuel, d'environ 51 µg/m²/an, est 1,5 fois plus élevé qu'à Lille.

L'importance des teneurs relevées en octobre correspond peut être à la période des brouillards. Les brumes, brouillards et rosée sont 30 à 60 fois plus chargés en pesticides que les pluies.

Les brouillards peuvent se concentrer ou véhiculer des produits sur des distances moyennes, voire sur de longues distances lorsqu'il s'agit des nuages. (Les gouttelettes les plus fines sont celles qui concentrent le plus les pesticides).

Ces études, étendues à l'ensemble de la France**, permettent de constater que l'on mesure, sur l'ensemble du territoire français, à la ville comme à la campagne, des concentrations en atrazine, en dinoterb ou en alachlor qui atteignent 10 à 20 fois les « normes » tolérées pour l'eau potable. Une expérimentation strasbourgeoise a échantillonné l'atmosphère dans trois points de mesures alsaciens en avril-mai 1993 et juin-juillet 1994. Les fortes valeurs relevées dans le vignoble alsacien (Colmar) en isoproturon correspondent vraisemblablement à

* Mais on trouve également de l'isoproturon, de l'alachlor (trois fois plus qu'à Lille), de la déséthylatrazine, du métolachlor, et du carbendazim (pour 1999/2000).

** De nombreuses études ont été initiées dans les différentes régions françaises à l'occasion des Plans régionaux de la qualité de l'air. Les résultats obtenus à Strasbourg sont publiés dans *Atmospheric Environment*.

une période de traitement. Les valeurs élevées mesurées pour l'atrazine en ville (Colmar et Strasbourg) s'expliquent par le transport de cette substance fortement utilisée pour traiter le maïs alsacien. À Aubure, station d'altitude située dans le massif vosgien, les valeurs sont plus faibles. Dans l'ensemble les niveaux mesurés sont en phase avec les données recueillies dans d'autres stations et consignées dans la littérature.

Ces premières investigations montrent que la question des pesticides relève d'une problématique globale puisque ces produits sont transportés sur de longues distances et qu'ils peuvent persister longtemps dans l'atmosphère. Dans cette perspective, ce n'est plus uniquement l'agriculture mais également la ville et même l'ensemble de la planète qui est concerné.

Les pesticides voyagent. Par exemple, on trouve dans l'atmosphère parisienne de l'atrazine en quantité équivalente aux taux relevés à 100 km de la capitale. Pourtant, a priori, l'atrazine n'est pas utilisée à Paris. De la même façon, on en a trouvé aussi en Allemagne alors qu'elle est interdite depuis cinq ans, ainsi qu'au sommet du Mont-Blanc et en Suède, dans des zones où elle n'est pas utilisée. La plupart des pesticides sont transportés sur de courtes et moyennes distances alors que les substances organochlorées peuvent être transportées sur de longues distances. Les pesticides les moins réactifs peuvent entrer dans la circulation stratosphérique globale (DDT, lindane, chlordane, isoxaben ou toxaphène, par exemple) et participer à la disparition de la couche d'ozone ou à l'accroissement de l'effet de serre. Le transport des pesticides dépend de la forme sous laquelle ils se trouvent dans l'atmosphère, soit sous forme gazeuse, soit sous forme particulaire. Les particules, selon leur taille peuvent être entraînées dans l'eau de pluie (wash out) ou bien constituer un dépôt sec. Ce sont elles que l'on retrouve dans l'eau de pluie. Les pesticides sous forme particulaire résident moins longtemps dans l'atmosphère que les pesticides gazeux qui, eux, peuvent jouer un rôle sur la photochimie de l'atmosphère. L'étude strasbourgeoise mentionnée ci-dessus montre qu'au printemps, au cours de la période d'épandage, les pesticides retrouvés dans l'atmosphère apparaissent surtout sous forme gazeuse donc facilement transportable.

Les pesticides peuvent aussi participer à la chimie atmosphérique. L'atmosphère est un réservoir dans lequel les polluants se déplacent (advection et diffusion) mais elle constitue aussi un puits chimique ou physique.

Les puits chimiques provoquent des réactions en phase homogène et/ou hétérogène. Ils limitent la durée de vie des molécules dans l'air. La nature du support d'adsorption est déterminante. L'adsorption sur cendres volantes d'incinération accélère au contraire la dégradation (catalyse par certains oxydes métalliques (?)) par ailleurs toxiques).

Les puits physiques correspondent au lessivage de l'air par les précipitations ou aux dépôts secs (gaz et particules).

De nombreuses réactions de dégradation photochimique existent également dans l'atmosphère. Elles sont très variables selon les molécules et selon les conditions de température. Les pesticides peuvent participer à la chimie de l'ozone et jouer un rôle dans la formation des photo-oxydants.

Quelles sont les sources des pesticides recueillis dans l'eau de pluie ?

Il existe deux types de réponses à cette question :

- l'ensemble des pratiques agricoles et urbaines tend à augmenter l'usage de ces produits ;
- les pratiques d'épandage contribuent à diffuser les produits directement ou indirectement dans l'air.

Les usages des pesticides se sont beaucoup banalisés. Plus l'agriculture est intensive, plus elle utilise d'intrants (pesticides et nitrates, en particulier).

Nous assistons à un mouvement d'intensification de certaines pratiques. Les herbicides sont employés sur de grandes surfaces et le défanage des pommes de terre s'exerce parfois de manière chimique. Au XIX^e siècle, les voies navigables de France n'utilisaient pas de désherbant, contrairement à aujourd'hui. Les bords de route sont très consommateurs de produits phytosanitaires et de désherbant en particulier. La SNCF utilise un train « désherbeur ».

Les villes sont des endroits où l'on utilise de plus en plus de désherbants, mais aussi des insecticides. L'artificialisation du territoire impose l'emploi de produits fongicides ou herbicides de manière à lutter contre les mousses, etc.

Le développement des golfs correspond à une utilisation massive d'engrais et d'herbicides. Une surface enherbée d'un sol consomme cinq fois plus de pesticides que la même surface cultivée.

Bien que les molécules soient de plus en plus efficaces à faible dose, les tonnages continuent à augmenter. Sans doute, observe-t-on une adaptation de certaines espèces aux produits utilisés.

On compte plus de 600 espèces d'insectes résistants aux produits phytosanitaires sur le marché et près de 60 espèces de mauvaises herbes qui sont dans le même cas. La généralisation des traitements s'effectue rapidement puisque les arbres voisins de ceux qui sont traités deviennent très vulnérables s'ils ne sont pas eux-mêmes traités*.

Certains proposent de cultiver des OGM, ce qui permettrait d'utiliser moins de désherbant. Les premières études menées aux États-Unis démontrent qu'en tout cas pour ce pays, on n'en utilise pas beaucoup moins sur ce type de cultures, voire parfois plus.

* Voir note **, p. 238.

De 30 à 75 % des produits épandus, selon les conditions météorologiques et les pulvérisateurs utilisés se retrouvent dans l'atmosphère. Selon les produits et les types de molécules, on peut supposer qu'ils vont être transférés à des altitudes différentes. À basse altitude, en dessous de 300 m, l'impact sur la santé humaine et le risque professionnel sont forts. Au-dessus, les pesticides intègrent des aspects plus globaux de la pollution atmosphérique.

Quels sont les processus de relargage des pesticides dans l'atmosphère ?

Les molécules identifiées dans l'eau de pluie proviennent du lessivage de l'atmosphère mais il existe aussi une interface entre l'air et le sol. Si le sol est gorgé d'un produit, il émane des vapeurs avec la chaleur. Les transferts de pesticides dans l'atmosphère proviennent soit de dérives au moment du traitement, le vent éparpille les produits, soit de la volatilisation des substances déposées sur le sol. La présence de pesticides dans l'air dépend des caractéristiques du produit, de sa dégradabilité, du type de surface, plantes ou animaux traités, des pratiques agricoles, du matériel de traitement, des conditions climatiques et pédologiques.

Les procédés de pulvérisation et de traitement des produits jouent donc un rôle important dans la présence de résidus atmosphériques.

Les épandages sont de mieux en mieux maîtrisés. Les acteurs sont prévenus. Les pulvérisations aériennes sont les plus grandes sources de concentration de substances dans l'atmosphère. Par exemple : les champs de coton sont traités par avion, la vigne alsacienne par hélicoptère. Il est déjà très difficile de régler les pulvérisateurs mais, de plus avec des outils de plus en plus grands, le moindre trou ou cahotement pose des problèmes.

Les différentes conditions d'application créent des cas particuliers. Le houblon sur des perches de 9 m de haut exige qu'on le pulvérise en l'air. Le produit adhère moins bien et l'agriculteur est dans le nuage. Comme il s'agit de petits consommateurs de produit et que les pucerons se sont adaptés aux molécules, les agriculteurs utilisent des doses largement supérieures à ce qui est nécessaire. De plus, ces produits sont normalement interdits, mais des dérogations sont accordées. Après le traitement, il peut se produire une perte importante : parfois plus de 70 % du produit n'est plus collé sur les feuilles quelques jours après.

La volatilisation dépend de plusieurs paramètres qui sont liés au produit (solubilité dans l'eau), mais aussi à la formulation, à la quantité appliquée, aux conditions d'application (vent, hygrométrie) et aux problèmes d'incorporation ou non dans le sol. La volatilisation peut être directe ou plus indirecte* au

cours de processus d'érosion éolienne des sols. Néanmoins, le spectacle des tracteurs qui soulèvent des nuages de poussières provoque des questionnements.

Les pesticides peu dégradables, ou présents dans un sol acide ou pauvre en bactéries, se stabilisent en se liant à certains constituants du sol. On appelle « résidus liés » la fraction du pesticide la plus fortement stabilisée dans le sol. Sous monoculture de blé traité à l'atrazine, après 1 mois, presque 50 % de l'atrazine se retrouve sous forme de « résidu lié », et près de 60 % des résidus liés étaient de l'atrazine pure ou des sous-produits proches. Dans ce cas, le sol, sous certaines conditions, (réchauffé, érodé, acidifié, dégradé, amendé...) peut **relarguer** le pesticide ou ses sous-produits plusieurs années ou décennies après.

Les impacts des pesticides

La toxicologie et l'écotoxicologie des pesticides reste encore largement une science à développer. Dans l'environnement, quelques indices permettent de suspecter l'influence des biocides. Chez l'homme, ce sont les professionnels, exposés à de fortes doses, qui permettent d'identifier certains impacts des pesticides sur la santé.

Quelques indices de problèmes environnementaux

Il semble que dans certaines zones, on puisse établir un lien de cause à effet entre l'utilisation des pesticides et, par exemple, la disparition des lichens.

Début mai, les populations de papillons semblent s'effondrer, puis, après le mois de juillet, augmentent à nouveau. Depuis 1990, ce phénomène est flagrant et seules quelques espèces de papillons semblent y résister.

D'autres indices peuvent être signalés : les abeilles empoisonnées ne parviennent plus à rentrer dans leur ruche, des grenouilles disparaissent au fin fond de l'Amazonie, des analyses de sang des Inuits du nord du Québec présentent des résultats troublants. Les insectivores ne sont pas atteints de façon uniforme : les hérissons ne semblent pas menacés ; par contre, à Bruxelles, les hirondelles ont quasiment disparu. En effet, si autrefois toutes les maisons bruxelloises accueillait un nid d'hirondelles, aujourd'hui, cela devient assez rare. La chauve-souris est une des espèces nocturnes menacées.

En 1987, l'INRA avait procédé à des analyses hebdomadaires de quelques pesticides courants, dans des pelotes de pollens venant de 17 ruchers, dans 10 départements. Quatre-vingt-dix pour-cent des pollens présentent des résidus de pesticides surtout en zone d'agriculture intensive. Les teneurs peuvent atteindre jusqu'à 6 500 µg dans certaines

* Sanusi A, Millet M. Gas-particle partitioning of pesticides in atmospheric samples. *Atmos Environ* 1999 ; 33 : 4941-51.

ruches du Gers (culture intensive), contre 150 µg pour un rucher de garrigue (Hérault).

Les pesticides partageraient également une certaine responsabilité pour le dépérissement forestier : pour Hartmut Frank, écotoxicologue de l'Université de Tübingen, les sols des parcelles les plus touchées présentent de fortes concentrations en trichloroacide acétique (TCA)* – jusqu'à 0,4 mg/m³ sur des zones où il n'a jamais été appliqué. Le TCA a donc été soit transporté par l'air, soit produit par décomposition de solvants organochlorés tels que le trichloroéthane (méthylchloroforme), le tri- et le tétrachloroéthylène.

Cependant, des impacts sur l'homme et sur les citadins sont à craindre puisque la présence de pesticides dans les eaux de pluie urbaine permet de penser que ces substances existent également dans l'air sous forme de gaz ou d'aérosols. Elles peuvent donc être respirées et parvenir jusqu'aux poumons.

L'impact sur la santé humaine

Le taux de pesticides dans l'eau de boisson doit être assimilable au seuil de détection des appareils. C'est-à-dire que les pesticides ne doivent pas figurer dans l'eau de boisson.

Le taux de dépassement de la norme eau potable est un indicateur très critiqué lorsqu'on parle de pesticides dans l'air. Il est utilisé à titre de référence, parce qu'il n'y a pas de normes pour les eaux météorologiques. Il est vrai que nous ne buvons pas l'eau de pluie, si ce n'est parfois sur les bateaux, ou dans quelques expériences de récupération d'eau de pluie qui est filtrée avant stockage en citerne. Mais rappelons que nombre d'animaux boivent l'eau de pluie, (ou les gouttes de rosée), et que la pluie alimente les cours d'eau et les nappes. Les taux mesurés dans l'air (ce sont d'ailleurs davantage les aérosols que les gaz qui sont mesurés) sont très faibles, proches des seuils de détection des appareils. Ces faibles doses, comme pour beaucoup de polluants atmosphériques, posent des problèmes de toxicologie. Il est plus facile d'évaluer l'impact d'un pic de courte durée que les conséquences de la présence chronique de faibles doses dans l'atmosphère.

En outre, la métrologie des pesticides, dépendant de la chromatographie, a besoin de connaître les produits utilisés pour pouvoir identifier leur présence dans l'eau ou dans l'atmosphère. Seule, la coopération des industriels et des agriculteurs peut permettre d'avancer dans ce domaine.

Si on ne sait pas encore évaluer la part des pesticides inhalés, on considère que l'eau de boisson ne représente que 10 % des apports de pesticides dans

l'alimentation ; 90 % proviennent des fruits ou des légumes ingérés.

Des études canadiennes notamment démontrent que les personnes qui habitent à proximité de cultures de pommes ou de poires voient le taux de pesticides dans leurs urines augmenter après les épandages, et ce alors qu'ils ne sont pas allés dans l'exploitation et n'ont pas été en contact avec les fruits. On peut en conclure que la contamination s'est effectuée par l'air soit via les poumons, soit via la peau.

Nos poumons sont une interface d'échange humide. Si un produit est soluble dans le brouillard, on peut supposer qu'il pourra pénétrer dans nos poumons.

La Mutuelle sociale agricole (MSA) a publié une étude effectuée par un réseau de toxicovigilance qui met en lumière la toxicité des produits phytosanitaires. Les problèmes cutanés sont les plus courants (24 %) suivis des problèmes digestifs (17 %), des problèmes oculaires (10 %) et des maux de tête (10 %). Au Centre Hospitalier Universitaire de Brest, des études sont menées sur la nocivité des faibles doses en essayant de reprendre les résultats de différentes études canadiennes ou américaines qui semblent indiquer une relation entre des niveaux d'exposition aux pesticides et des leucémies, tumeurs du pancréas et du côlon. On soupçonne également une influence des pesticides sur la baisse de la fécondité humaine.

On sait de plus qu'il existe une dégradation ou biodégradation de nombreuses molécules et parfois une bioconcentration de ces molécules. Or, les molécules métaboliques ou de dégradation peuvent être plus toxiques que la molécule mère. Il peut aussi y avoir de complexes synergies.

Les synergies entre différents produits

Lorsqu'on associe trois produits, le résultat peut être plus toxique qu'un seul produit. À l'inverse, cela peut neutraliser certains effets toxiques. D'après l'Université de Wrocław en Pologne, des synergies sont possibles entre certains éléments phosphorés et les métaux lourds. Or, les champs cultivés reçoivent les boues des stations d'épuration qui contiennent des métaux lourds.

Certains biocides peuvent agir à long terme, à très faible dose et en synergie avec d'autres biocides ou d'autres polluants de l'environnement, pour provoquer des empoisonnements (toxicité aiguë),

Tableau 1.
Concentrations moyennes pour quelques paramètres
(Europe – Données 98/99).

Pesticides dans les eaux de pluie	0-70 ng/l ; pics > 100 ng/l
Pesticides dans les brouillards	200-14 000 ng/l
Pesticides en phase gazeuse et particulaire	200-3 000 pg/m ³

* TCA : herbicide non sélectif commercialisé jusque dans les années 70. À faible dose, il stimule la plante, qu'il tue à dose plus forte en inhibant le développement des méristèmes (tissus embryonnaires).

des allergies, cancers, tumeurs, délétion de la spermatogenèse, perturbations hormonales, stérilité ou maldéveloppement du fœtus.

Certains produits domestiques (produits de traitement des bois ou tissus, aérosols, plaquettes, diffuseurs électriques, antiparasitaires...) contiennent des matières actives nocives par contact, inhalation ou ingestion. Ils imprègnent murs, rideaux, coussins, moquettes et poussières, exposant les enfants à des doses souvent supérieures à celles des adultes.

Les biocides peuvent contaminer les réserves en eau.

Par exemple : l'alléthrine, la cyfluthrine, le D-phénothrin, le dichlorvos, le propoxur, le pyriméthyl, la tétraméthrine. Toutes ces substances sont nocives par inhalation ou ingestion et toxiques à très toxiques pour les abeilles et les poissons, elles sont soupçonnées, comme la tétraméthrine, d'être cancérogènes pour l'homme.

Il existe des bactéries qui se sont sélectionnées et qui sont capables de dégrader des produits et, pour certains, de s'en nourrir.

Conclusion

Les pesticides représentent un phénomène global

de par leur durée de vie, leur persistance dans l'atmosphère...

Cette globalité s'applique également aux enjeux socio-économiques. À travers cette question c'est tout le rapport entre l'homme et la nature qui est en cause. L'alimentation est un indicateur de cette relation qui a été très artificialisée au fil des temps. La sécurité sanitaire impose une grande vigilance vis-à-vis des produits utilisés pour différents usages. La présence de pesticides dans l'air mérite d'être surveillée et surtout, la toxicité des faibles doses contenues dans l'aérosol urbain mérite d'être davantage étudiée. Cependant, la contamination de l'eau (rivières et nappes souterraines) est encore plus préoccupante que celle de l'air puisque c'est l'ensemble de la ressource en eau qui est en cause. Des rivières bretonnes présentant des pics d'atrazine et de lindane sont mises sous haute surveillance.

Le monde agricole ne souhaite pas être désigné du doigt. Il n'est d'ailleurs pas le seul responsable. Le Bureau international du travail estime que 40 000 décès par an seraient dus aux pesticides. Les paysans de l'hémisphère Sud sont les plus touchés. Plusieurs produits interdits d'usage dans les pays industrialisés sont encore fabriqués pour être vendus aux pays en voie de développement.

La directive 98/8/CE préconise entre autres :

3. Une fois l'autorisation accordée, la confidentialité ne s'applique en aucun cas :

- a) au nom et à l'adresse du demandeur ;
- b) au nom et à l'adresse du fabricant du produit biocide ;
- c) au nom et à l'adresse du fabricant de la substance active ;
- d) aux dénominations et à la teneur de la ou des substances actives et à la dénomination du produit biocide ;
- e) au nom des autres substances considérées comme dangereuses aux termes de la directive 67/548/CEE et qui contribuent à la classification du produit ;
- f) aux données physiques et chimiques concernant la substance active et le produit biocide ;
- g) aux moyens utilisés pour rendre la substance active ou le produit biocide inoffensif ;
- h) au résumé des résultats des essais requis par l'article 8 et destinés à établir l'efficacité de la substance ou du produit et ses incidences sur l'homme, les animaux et l'environnement, ainsi que, le cas échéant, son aptitude à favoriser la résistance ;

i) aux méthodes et précautions recommandées pour réduire les risques lors de la manipulation, de l'entreposage et du transport, ainsi que les risques d'incendie ou autres ;

j) aux fiches de données de sécurité ;

k) aux méthodes d'analyse visées à l'article 5, paragraphe 1, point c ;

l) aux méthodes d'élimination du produit et de son emballage ;

m) aux procédures à suivre et aux mesures à prendre au cas où le produit serait répandu ou en cas de fuite ;

n) aux premiers soins et aux conseils médicaux à donner en cas de lésions corporelles.

Lorsque le demandeur, le fabricant ou l'importateur du produit biocide ou de la substance active révèle ultérieurement des informations restées précédemment confidentielles, il est tenu d'en informer l'autorité compétente.

De plus, l'étiquette doit porter de manière lisible et indélébile les indications suivantes :

- a) l'identité de toute substance active et sa concentration en unités métriques ;
- b) le numéro de l'autorisation accordée pour le produit biocide par l'autorité compétente ;

c) le type de préparation (par exemple : concentrés liquides, granules, poudres, solides, etc.) ;

d) les utilisations autorisées du produit biocide (par exemple : protection du bois, désinfection, biocide de surface, produit antisalissure, etc.) ;

e) les instructions d'emploi et la dose à appliquer pour chaque usage autorisé, exprimée en unités métriques ;

f) les indications des effets secondaires défavorables, directs ou indirects susceptibles de se produire, et les instructions de premiers soins ;

g) la phrase « Lire les instructions ci-jointes avant l'emploi », dans le cas où le produit est accompagné d'une notice explicative ;

h) des instructions pour l'élimination en toute sécurité du produit biocide et de son emballage, comportant le cas échéant une interdiction de réutiliser l'emballage ;

i) le numéro ou la désignation du lot de la préparation ou la date de péremption dans des conditions normales de conservation ;

j) la durée nécessaire pour l'effet biocide, l'intervalle à respecter entre les applications du produit biocide ou entre l'application et l'utilisation suivante du produit traité ou l'accès suivant de l'homme ou des animaux à la zone d'utilisation du produit biocide, y compris des indications concernant les moyens et mesures de décontamination et la durée de ventilation nécessaire des zones traitées ; des indications concernant le nettoyage du matériel ;

des indications concernant les mesures de précaution pendant l'utilisation, le stockage et le transport (par exemple : vêtements et équipement de protection, mesures antifeu, protection du mobilier, éloignement de la nourriture ou des aliments) et des consignes destinées à éviter l'exposition des animaux) et, le cas échéant :

k) les catégories d'utilisateurs auxquels le produit biocide est limité ;

l) des informations sur tout risque spécifique pour l'environnement, en particulier pour protéger les organismes non visés et éviter la contamination de l'eau ;

m) dans le cas de produits biocides microbiologiques, les exigences en matière d'étiquetage conformément à la directive 90/679/CEE du Conseil du 26 novembre 1990 concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques.

Les états membres exigent que les indications requises au paragraphe 3, points a), b), d) et, le cas échéant, g) et k), figurent toujours sur l'étiquette du produit.

Les États membres admettent que les indications requises au paragraphe 3, points c), e), f), h), i), j) et l), figurent en un autre endroit de l'emballage ou fassent l'objet d'une notice explicative qui accompagne l'emballage et en fait partie intégrante. Ces informations sont considérées comme des informations devant figurer sur l'étiquette au titre de la présente directive.