

Virginie BALOT
Sophie BOURON
Loïc ESNAULT
Stéphanie POULIQUEN



Synthèse sur les molécules de substitution de l'atrazine, leur toxicité et leur devenir.

Application d'une même méthodologie d'évaluation des risques sur l'atrazine et sur la ou les molécules de remplacement.

Projet multidisciplinaire dans le cadre du programme Partenariat Institutions-Citoyens pour la Recherche et l'Innovation du Conseil Régional d'Ile-de-France

Master Sciences et Génie de l'Environnement
M2 SAGE

Février 2007



En collaboration avec l'association:
Nature Environnement Fresnes

Le Laboratoire Eau Environnement et Système Urbain (LEESU) de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC), faisant partie de l'Université Paris-Est, n'entendent donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans ce mémoire, ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Rapport SAGE M2
Projet PICRI CRIF 2005 - 2010
picri.h2o.net
Université Paris-Est LEESU ENPC
(Anciennement Cereve ENPC)

Champs-sur-Marne Février 2007

Sommaire

Résumé	4
Rapport.....	8
Introduction.....	8
1. L'atrazine.....	9
1.1. La toxicité	10
1.2. Réglementation et détection de l'atrazine dans les eaux	10
1.3. L'interdiction de l'atrazine	11
1.4. Les molécules de substitution de l'atrazine	12
2. Homologations des produits phytosanitaires.....	13
2.1. Qu'est ce que l'Autorisation de mise sur le marché (AMM) ou homologation ?	13
2.2. Contenu d'un dossier d'AMM	14
2.3. Homologation officielle	15
2.4. La santé des consommateurs	18
3. Les pesticides et le milieu naturel.....	19
3.1. Caractéristiques chimiques.	21
3.2. Interprétation des tableaux	23
4. Ecotoxicité	23
4.1. Sulcotrione.....	23
4.2. Méso-trione.....	24
4.3. Alachlore.....	25
4.4. Acétochlore.....	25
4.5. Bentazone	26
4.6. S-métolachlore	26
5. Toxicologie	26
5.1. Sulcotrione.....	27
5.2. Méso-trione.....	27
5.3. Alachlore.....	27
5.4. Acétochlore.....	28
5.5. Bentazone	28
5.6. S-métolachlore	28
6. Discussion	29
Conclusion.....	32
Annexe A	35
Annexe B.....	46
Annexe C.....	47
Annexe D.....	48
Annexe E.....	49
Glossaire	52
Bibliographie.....	55

Résumé

Les pesticides aussi appelés « produits phytosanitaires » sont des produits dont les propriétés chimiques contribuent à la protection des végétaux. Ils sont destinés à détruire, limiter ou repousser les éléments indésirables à la croissance des plantes, tels que les insectes, parasites et autres plantes. Les herbicides, dont l'atrazine qui fait partie de la famille des organo-azotés et plus précisément des triazines, sont destinés à lutter contre certains végétaux (les « mauvaises herbes »), qui entrent en concurrence avec les plantes à protéger en ralentissant leur croissance.

La France occupait en 2004, en quantités de substances vendues, le 3^{ème} rang mondial sur le marché des produits phytosanitaires et le premier rang européen. Les herbicides représentent 34% du volume total de pesticides utilisés. La France est aussi le premier producteur de maïs en Europe.

Depuis plus de 20 ans, la communauté européenne se dote progressivement de législations visant la protection de la santé des consommateurs et la préservation de l'environnement, en édictant des normes de contamination (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 aquatiques. La réglementation sur l'eau potable exige un renforcement de la surveillance de la qualité de l'eau et la mise en place de programmes d'amélioration de la qualité de l'eau distribuée en cas de dépassement des seuils (0,1 µg.L⁻¹ par substance et 0,5 µg.L⁻¹ pour l'ensemble des pesticides mesurés).

Le rapport sera composé de quatre parties. Tout d'abord, une première partie sera consacrée à l'atrazine et ses nouvelles molécules de substitution. Puis une seconde partie sera consacrée aux procédures d'homologation des substances actives. Une troisième partie traitera des résultats environnementaux et toxicologiques des substances actives. Enfin dans une dernière partie, une comparaison entre les molécules de substitution elles-mêmes et l'atrazine sera faite d'un point de vue toxicologique et écotoxicologique.

L'atrazine agit en bloquant la photosynthèse des végétaux. Elle est utilisée principalement comme désherbant du maïs et du sorgho. Le maïs est un gros consommateur d'herbicides. Il a besoin d'être désherbé au départ mais aussi pendant les 90 jours de la végétation. L'atrazine a donc été très couramment utilisée pendant quarante ans, entre son introduction en 1960 jusqu'à son interdiction, décidée en 2001.

Cependant, sa toxicité est avérée sur le milieu aquatique. La molécule a un effet inhibiteur sur les plantes aquatiques, et la toxicité aiguë apparaît à faibles doses. La dose létale varie beaucoup selon les espèces mais est majoritairement élevée. Pour l'homme, l'atrazine est classée comme « produit nocif » et non cancérigène par le Centre international de recherches sur le cancer (CIRC) depuis 1998.

Le produit a été homologué en 1959, mais les restrictions d'usage se sont multipliées au cours des années 90 tant en raison des inquiétudes sur ses effets à long terme sur la santé qu'en raison de sa présence généralisée et parfois massive, dans les cours d'eau et les eaux souterraines voisines des lieux d'épandage. L'interdiction totale a été décidée fin 2001. Jean Glavany, Ministre de l'Agriculture et de la Pêche, de l'époque, a engagé la procédure de retrait de l'homologation de l'atrazine et d'autres herbicides dérivés, de la famille des triazines. Les principaux motifs de cette décision sont : la présence généralisée dans les eaux de surfaces et profondes, des teneurs en atrazine et de ses produits dérivés supérieurs à 0,1 µg.L⁻¹ de façon continue. A cela s'ajoute le fait que les précédentes mesures de restrictions d'usage n'ont pratiquement eu aucun effet sur les concentrations observées dans les eaux. L'atrazine était présente pratiquement partout. Les limitations apparaissantes inefficaces, il a donc été décidé un arrêt total.

Le fondement scientifique est ténu, dans la mesure où l'atrazine n'a que très peu d'impact avéré sur la santé et que les normes internationales n'imposaient nullement l'interdiction. Cependant, il s'avère que le produit reste utilisé dans de nombreux pays. A priori, cette décision peut être assimilée à un signal politique fort. Elle appelle à une prise de conscience concernant la nécessité de changements de pratiques agricoles.

Fortes des expériences passées et conscientes des enjeux environnementaux, les autorités ont renforcé les processus de mise sur le marché de nouvelles substances actives ayant des propriétés similaires à celles de l'atrazine.

La réglementation sur les produits phytosanitaires a pour objectif de garantir l'efficacité des préparations mais aussi, leur innocuité pour le consommateur et l'environnement en les autorisant pour certains usages seulement et en fixant les conditions d'application.

Compte tenu de l'impact non négligeable des produits phytosanitaires sur l'environnement, leur vente résultant d'une autorisation de mise sur le marché AMM (ou homologation) suit désormais une procédure rigoureuse en 2 phases :

-Au niveau européen,

La 1^{ère} phase de l'homologation est prévue par la directive 91/414/CEE.

Chaque nouvelle substance active doit faire l'objet d'études aux laboratoires et aux champs afin de mesurer les impacts sur la santé de l'homme et l'environnement. D'autre part, des expérimentations sont réalisées pour vérifier l'efficacité, la sélectivité et l'innocuité vis-à-vis de la culture concernée. L'ensemble des études à conduire pour un dossier de substance active est listé dans l'annexe II de la directive 91/414/CEE du 15 juillet 1991.

Au vu des résultats, l'ensemble des Etats Membres (représentés par des experts regroupés dans le Comité permanent de la chaîne alimentaire et de la santé) décident d'inscrire ou non la nouvelle molécule sur la liste positive communautaire appelée aussi annexe I pour une durée de 10 ans renouvelable. Le principe de la liste a été établi en 1993 afin de répondre aux exigences de la directive citée auparavant.

De ce fait, les substances actives, autorisées antérieurement à cette date et soutenues par les firmes, seront réexaminées et réévaluées en appliquant les nouveaux critères toxicologiques d'acceptation. A la suite de leur instruction, soit la substance est inscrite à nouveau sur l'annexe I, soit son inscription est refusée et les autorisations antérieures de mise sur le marché sont retirées.

Chaque autorisation de mise sur le marché porte sur un seul usage et en fixe précisément les conditions de mise en œuvre qui devront être indiquées sur l'emballage du produit. En effet, suivant l'inscription sur la liste positive, chaque substance active se voit attribuer un classement toxicologique.

-Au niveau national

L'homologation communautaire est la première étape nécessaire, mais non suffisante. En effet, le dossier des spécialités commerciales contenant les substances actives nouvellement inscrites reste à l'appréciation des Etats membres. Les autorisations de mise sur le marché qui suivront seront donc nationales. Ainsi, une spécialité peut être autorisée en France, mais pas dans un autre Etat, et inversement.

En France, l'AMM des produits relève de la compétence de la Direction générale de l'alimentation (DGAL) rattachée au Ministère de l'Agriculture qui s'appuie sur plusieurs instances.

Sur la base des tests effectués, une commission d'étude de toxicité et un comité d'homologation, après expertise, émettent ou non un avis favorable sur la commercialisation. Au final, l'AMM est accordée ou non par le Ministre de l'Agriculture.

En revanche, ces autorisations sont provisoires. En effet, l'Etat peut décider de limiter les usages pendant certaines périodes ou sur certains lieux, voire de retirer l'autorisation de vente, ce qui fait cesser la commercialisation et interdire l'usage de certains produits.

La réglementation dans ce domaine évolue régulièrement, d'une part, en fonction des connaissances sur les dangers de ces préparations, et d'autre part, en fonction des moyens de détection des résidus dans les végétaux et l'eau.

Suivant cette réglementation, seules les molécules inscrites à l'annexe I peuvent être commercialisées. Dans notre étude, nous nous intéressons principalement à sept molécules : l'acétochlore, le S-métolachlore, la mésotrione, le bentazone, l'alachlore, le métolachlore et la sulcotrione.

Toutes les substances actives que nous étudions agissent différemment sur les végétaux. Certaines ont une action foliaire (sur les feuilles), racinaire ou anti-germinative. Elles peuvent cumuler certaines ou toutes ces fonctions. Etant donné leur domaine d'action, ces molécules ont été étudiées afin de connaître leur impact sur l'environnement et sur la santé humaine.

Afin d'évaluer les molécules de substitution de l'atrazine, il convient de s'intéresser à leurs propriétés chimiques ainsi qu'à la nature de leurs interactions avec l'environnement. D'une manière générale, il est bien connu que seule une petite quantité d'herbicide (ou de pesticide) atteint la cible initialement visée.

En effet, il existe plusieurs voies de perte du pesticide dans l'environnement :

- dériver vers l'atmosphère avant même d'avoir atteint le sol.
- atteindre le sol et se volatiliser par évaporation de l'eau, être emportés par ruissellement et s'infiltrer ou non vers les nappes souterraines.
- atteindre des organismes non cibles qui absorbent les pesticides et les rejettent par évapotranspiration.

La volatilisation d'un herbicide est évaluée grâce à la constante de Henry.

Cependant, la possibilité du transfert du pesticide vers les eaux est difficile à évaluer car elle dépend de nombreux paramètres chimiques (vitesse d'hydrolyse de l'eau, temps de dégradation DT50, mobilité dans le sol estimée grâce au coefficient Koc ou encore solubilité dans l'eau).

Le temps de dégradation est un paramètre essentiel pour évaluer la potentielle contamination des eaux souterraines.

Mais la dégradation d'une substance (biotique ou abiotique) dépend évidemment des caractéristiques de la substance active, de la nature du sol et de l'historique de traitement (plus le sol reçoit la substance, plus il la dégradera vite).

Il est donc nécessaire de connaître quelques propriétés physico-chimiques essentielles de chaque molécule. Certaines caractéristiques sont déjà répertoriées sur les étiquettes des conteneurs de ces produits : formule brute, masse molaire, risques pour l'homme et l'environnement.

En comparant l'atrazine avec ses sept molécules de substitution, on constate qu'elles sont toutes plus solubles dans l'eau. Cela signifie donc une forte tendance à contaminer les eaux (superficielles ou souterraines).

La plupart de ces molécules (exceptées la mésotrione et la sulcotrione) ont une plus forte tendance à se volatiliser que l'atrazine.

Il est également possible d'estimer la mobilité des substances actives et donc leur transfert vers les nappes phréatiques. On constate alors que l'alachlore et l'acétochlore se distinguent des autres molécules par leur « faible » potentiel de contamination des nappes souterraines. Les substances restantes ont un degré de mobilité semblable à celui de l'atrazine.

Pour l'écotoxicologie, nous nous intéressons aux tests effectués sur les oiseaux, les poissons, les daphnies, les algues et les abeilles. Il a été démontré que toutes ces substances actives ont un impact sur l'environnement, même si certaines, comme l'alachlore sont plus toxiques que les autres. Il ne faut pas non plus oublier les métabolites de ces molécules même s'ils sont considérés comme moins toxiques que la molécule mère. Par

exemple, pour la sulcotrione, il est difficile de connaître les impacts de ces métabolites car ils diffèrent suivant les conditions pédoclimatiques et les pratiques culturales.

En ce qui concerne la toxicologie, de nombreuses études tentent de démontrer que les agriculteurs sont plus exposés au risque de cancer que le reste de la population. Cependant, le CIRC classe ces substances actives comme potentiellement cancérigènes, le lien n'est donc pas établi. Les tests de l'annexe II montrent quand même que ces molécules agissent sur les fonctions hépatiques en cas d'exposition prolongée. De plus, certaines précautions doivent être respectées lors de l'utilisation des ces substances actives car elles sont souvent irritantes pour la peau et les yeux.

En comparant la toxicologie et l'écotoxicologie, on peut dire que l'alachlore est aussi toxique que l'atrazine. La mésotrione serait la molécule de substitution la moins nocive pour l'homme et pour l'environnement.

Après l'arrêt de l'atrazine, de nouvelles molécules ont été synthétisées et utilisées avec un impact sur l'environnement plus ou moins important. Selon les critères physico-chimiques, environnementaux et les tests écotoxicologiques et toxicologiques, les molécules de substitution à l'atrazine sont plus ou moins nocives. Seule la mésotrione paraît intéressante à utiliser. Elle est moins toxique, moins mobile et s'applique en pré et post-levée.

En étant réaliste, on peut prédire que toute utilisation de molécules de substitution à long terme se traduira par une présence voire une contamination des eaux de surfaces et souterraines. Le bilan des herbicides retrouvés dans les eaux superficielles et souterraines entre 2003 et 2004 indique que quatre types de substances actives (atrazine, bentazone, métolachlore et alachlore) ont été quantifiées parmi celles qui sont le plus retrouvées dans les eaux superficielles et souterraines. L'atrazine et le métolachlore font partie des principales molécules déclassantes dans les eaux superficielles (supérieur à $2 \mu\text{g.L}^{-1}$). En revanche, seule l'atrazine fait partie des paramètres déclassants (selon SEQ-eau) concernant la qualité des eaux souterraines.

D'autre part, une décision de la commission européenne du 18 décembre 2006 concernant la non inscription de l'alachlore à l'annexe I de la directive 91/414/CEE du Conseil entraîne le retrait des autorisations accordées aux produits phytopharmaceutiques contenant cette substance active.

Rapport

Introduction

Les « pesticides », étymologiquement « tueurs de fléaux » sont aussi appelés, dans la réglementation nationale et européenne « produits phytosanitaires ». Ce sont des produits dont les propriétés chimiques contribuent à la protection des végétaux. Ils sont destinés à détruire, limiter ou repousser les éléments indésirables à la croissance des plantes, tels que les insectes, parasites et autres plantes. L'action des pesticides est multiforme. Elle peut être directe - par destruction de l'élément nuisible - ou indirecte, par réduction des capacités de reproduction des insectes par exemple.

Au sens de la [directive 91/414/CEE du Conseil du 15 juillet 1991](#), concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, on appelle :

- **Substances actives** : les substances ou micro-organismes, y compris les virus, qui exercent une action générale ou spécifique sur les organismes nuisibles ou sur les végétaux, parties de végétaux ou produits végétaux ;
- **Produit phytosanitaire** : les substances actives et les préparations contenant une ou plusieurs substances actives ayant pour action de :
 - ✓ Protéger les végétaux contre tout organisme nuisible.
 - ✓ Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux (régulateur de croissance)
 - ✓ Assurer la conservation des végétaux.
 - ✓ Détruire les végétaux ou parties de végétaux indésirables.

Les produits phytosanitaires sont classés par leurs usages. Les principaux sont :

- **les herbicides** qui luttent contre les mauvaises herbes,
- **les fongicides**, contre les maladies cryptogamiques ou champignons,
- **les insecticides**, contre les insectes,
- **les acaricides** contre les acariens,
- **les rodenticides**, contre les rongeurs,
- **les molluscicides** contre les mollusques ...

Les herbicides, dont l'atrazine qui fait partie de la famille des organo-azotés et plus précisément des triazines, sont destinés à lutter contre certains végétaux (les « mauvaises herbes »), qui entrent en concurrence avec les plantes à protéger en ralentissant leur croissance. Leur mode d'épandage est différent puisqu'ils sont déposés directement au sol, par opposition aux autres produits, plutôt pulvérisés sur la plante en croissance.

La France occupait en 2004, en quantités de substances vendues, le 3ème rang mondial sur le marché des produits phytosanitaires et le premier rang européen (73000 à 76100 tonnes de substances actives vendues dont 90% pour les usages agricoles) et le 4ème rang européen par hectare cultivé (hors surfaces en herbe) d'après l'expertise scientifique collective INRA-CEMAGREF en 2005 « [Agriculture et Environnement : réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux](#) ».

Les fongicides représentent 49% du volume, les herbicides 34%, les insecticides 3% et les produits divers 14%. La France est aussi le premier producteur de maïs en Europe. Ces substances actives sont formulées et commercialisées sous forme de préparations ou produits commerciaux : 6 000 environ sont homologués, mais environ 2 500 sont réellement distribués. Après une augmentation lente et régulière dans la seconde moitié des années 1990, les quantités totales de substances actives phytosanitaires vendues amorcent une diminution à partir de 2001 : elles passent de 99 600 tonnes en 2001 à 76 100 tonnes en 2004, soit une baisse globale de 24% sur le total des produits phytosanitaires (-16% hors cuivre et soufre). Cette diminution de consommation concerne surtout les fongicides (31%) et les herbicides (19%).

Cette tendance à première vue encourageante est cependant à nuancer par :

- l'apparition de nouvelles molécules s'utilisant à de très faibles doses par hectare et l'interdiction ou la limitation d'usage des substances actives dont la dose d'emploi homologuée est élevée ;
- la forte diminution d'emploi des produits soufrés et cuivrés (de l'ordre de 40%) qui, du fait de leur "poids" dans la consommation totale (près de 30%), explique une grande partie de la baisse observée.

Depuis plus de 20 ans, la communauté européenne se dote progressivement de législations visant la protection de la santé des consommateurs et la préservation de l'environnement, en édictant des normes de contamination (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.

Les principaux textes en vigueur actuellement sont :

- [la Directive 80/778/CEE](#) relative à la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, fixant à $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ la teneur en chaque pesticide, et $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ au total pour l'eau potable ; le dépassement de ces seuils oblige les pouvoirs publics à intervenir (réduction des sources de pollutions ou traitement de l'eau).
- [la Directive 91/414/CEE](#) relative à l'autorisation de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. Entrée en application en 1993, elle a renforcé les critères d'évaluation toxicologiques et écotoxicologiques pour l'homologation des nouvelles molécules, et programmé le réexamen des anciennes.
- [la Directive Cadre sur l'Eau \(2000/60/CE\)](#) : adoptée en 2000, elle fait obligation aux états-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 souterraines.

Le rapport sera composé de quatre parties. Tout d'abord une première partie sera consacrée à l'atrazine, chronologie depuis son homologation (1959) jusqu'à son interdiction (2001), avec une énumération de ses propriétés physico-chimiques et toxicologiques ainsi que celles de ses nouvelles molécules de substitution. Puis une seconde partie sera consacrée aux procédures d'homologation de ses substances actives, avec les tests réalisés jusqu'à la mise sur le marché. Une troisième partie traitera des résultats environnementaux et toxicologiques des substances actives. Enfin dans une dernière partie, une comparaison entre les molécules de substitution elles-mêmes et l'atrazine sera faite d'un point de vue toxicologique et environnemental. D'autre part, un bilan des contaminations des eaux superficielles et souterraines par ces herbicides sera étudié.

1. L'atrazine

L'atrazine agit en bloquant la photosynthèse des végétaux (production de glucides à partir de gaz carbonique présent dans l'air, en employant la lumière solaire comme source d'énergie).

L'atrazine fait partie des produits de synthèse organique parmi lesquels on trouve aussi la simazine et le therbuthylazine, désherbants utilisés en agriculture. L'atrazine est le nom générique d'une molécule. Les produits sont commercialisés sous différentes appellations. On compte plus de 30 produits à base d'atrazine (Buldozer, Iroquois, Belleter...).

L'atrazine est utilisée principalement comme désherbant du maïs et du sorgho et plus modestement, en arboriculture. Le maïs est un gros consommateur d'herbicides. Tandis que la plupart des céréales ont besoin d'une protection au moment de la pousse, le maïs a besoin d'être désherbé au départ mais aussi pendant les 90 jours de la végétation. C'est

pourquoi les consommations ont été très importantes. On estimait la consommation annuelle en France à plus de 5000 tonnes.

L'atrazine présentait pour l'exploitant beaucoup d'avantages : facile à utiliser, efficace (la molécule conserve son efficacité dans le sol de 2 à 6 mois) et un faible coût. Elle a donc été très couramment utilisée pendant quarante ans, entre son introduction en 1960 jusqu'à son interdiction, décidée en 2001.

1.1. La toxicité

La toxicité est avérée sur le milieu aquatique. La molécule a un effet inhibiteur sur les plantes aquatiques, et la toxicité aiguë -entraînant la mort- apparaît à faibles doses (invertébrés : 0,2 à 7 mg.L⁻¹ d'eau pendant deux jours d'exposition ; poissons : 5 à 15 mg.L⁻¹ d'eau pendant quatorze jours d'exposition).

La dose létale (dose nécessaire pour tuer 50 % d'animaux témoins) est très élevée : entre 750 et 4000 mg d'atrazine par kilo de poids d'animal ou d'oiseau (lapin : 750 mg, faisan : 2000 mg, rat ou souris : 1700 - 4000 mg).

Pour l'homme, l'atrazine est classée comme « produit nocif ». Cette nocivité se manifeste après inhalation ou contact dermique. Les risques d'effets graves apparaissent en cas d'exposition prolongée par ingestion. La dose journalière acceptable est de 40 µg.kg⁻¹ de poids corporel. Les effets à long terme sur la reproduction sont suspectés. En revanche, l'atrazine a été classée non cancérigène par le Centre international de recherches sur le cancer (CIRC) en 1998.

1.2. Réglementation et détection de l'atrazine dans les eaux

La réglementation sur l'eau potable exige un renforcement de la surveillance de la qualité de l'eau et la mise en place de programmes d'amélioration de la qualité de l'eau distribuée en cas de dépassement des seuils (0,1 µg.L⁻¹ par substance et 0,5 µg.L⁻¹ pour l'ensemble des pesticides mesurés).

Cependant les limites de concentrations fixées par l'Union Européenne pour l'eau potable (soit 0,1 µg de substance par litre d'eau) sont vingt fois plus sévères que le taux fixé par l'Organisation mondiale de la santé (2 µg.L⁻¹) et deux cents fois plus sévères que le taux fixé en Australie. Aujourd'hui, les inquiétudes viennent moins de la molécule que de son métabolite, le DEA, considéré comme plus toxique que la molécule mère.

Le nombre de molécules décelées dans les eaux de surface ou bien dans les eaux souterraines est de plus en plus élevé. Les analyses sont aussi de plus en plus performantes et abaissent les seuils de détection. Les substances de remplacement des molécules faisant l'objet de restrictions d'usage sont aussi décelées. Pour l'atrazine, différentes études dont une effectuée par la CORPEC (Cellule d'orientation régionale pour la protection des eaux contre les pesticides) sur les contaminations des eaux superficielles de Bretagne par les produits phytosanitaires de 1997 à 2000, montrent que 64 % des 77 sites étudiés sur des rivières en Bretagne possèdent un taux en atrazine supérieur à 0,1µg.L⁻¹ qui est la norme pour l'eau destinée à la consommation humaine.

	Atrazine (désherbant maïs)			
	1997	1998	1999	2000
Nombre de recherches	51	62	70	77
% d'analyses > 0,1 µg/l	96%	81%	66%	64%
% d'analyses > 1 µg/l	51%	24%	7%	9%
Pics observés (µg/l)	29 µg	4,1 µg	6,3 µg	11,1 µg
Lieu du pic	Flume	Arguenon	Flume	Flume

Tableau 1 : Principaux résultats de contamination des rivières de Bretagne à l'atrazine

Cependant, la comparaison entre les sites ne peut avoir lieu qu'avec des méthodes de prélèvements communes. Le choix des sites et le moment de prélèvements sont des paramètres qui peuvent entraîner des résultats totalement différents s'ils ne sont pas décidés de façon commune par tous les acteurs. Les différences régionales, et même départementales peuvent être très importantes, notamment pour les rivières qui retracent des contaminations localisées. Ainsi, même si l'étude de la CORPEC en 2000 sur la contamination des eaux superficielles de Bretagne aux produits phytosanitaires montre indiscutablement une forte contamination des eaux, celle-ci n'est cependant pas générale : l'Aven, dans le Finistère, était quasiment exempt de contamination aux pesticides alors que la plupart des rivières d'Ille-et-Vilaine étaient très fortement contaminées.

1.3. L'interdiction de l'atrazine

Le produit a été homologué en 1959, mais les restrictions d'usage se sont multipliées au cours des années 90 tant en raison des inquiétudes sur ses effets à long terme sur la santé (voir toxicité) qu'en raison de sa présence généralisée et parfois massive, dans les cours d'eau et les eaux souterraines voisines des lieux d'épandage.

En 1997, le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche a restreint les usages, à la fois par une diminution des doses d'emploi (la dose homologuée en 1959 qui était fixée à 2,5 kg/ha/an a été successivement baissée à 1,5 en 1990, puis en 1997 à 1 kg/ha/an -**avis JO du 15 février 1997**), et par une restriction des usages (interdiction des épandages sur les zones non agricoles telles que jardins, fossés, bordures des voies... **avis JO du 4 juillet 1997**).

Des interdictions locales ont été décidées en 1998. Ce fut notamment le cas en Bretagne. Les préfets des quatre départements de cette région ont pris des arrêtés d'interdictions temporaires d'utilisation de l'atrazine à proximité des cours d'eau et des points de captage.

L'interdiction totale a été décidée fin 2001. Jean GLAVANY, Ministre de l'Agriculture et de la Pêche, de l'époque, a engagé la procédure de retrait de l'homologation de l'atrazine et d'autres herbicides dérivés, de la famille des triazines. Après le choix politique, annoncé en octobre 2001, l'interdiction a pris la forme d'un avis aux opérateurs par produit (avis du 27

novembre 2001). La date limite de distribution a été fixée au 30 septembre 2002. La date limite d'utilisation a été fixée au 30 septembre 2003. Cette procédure de retrait d'homologation constitue l'aboutissement de la démarche d'évaluation des risques, engagée par le Ministre de l'Agriculture et de la Pêche. Elle fait suite à une analyse convergente des différents ministères concernés (Agriculture, Santé et Environnement), des avis respectivement rendus par le Comité d'homologation des produits anti-parasitaires, la Commission des produits anti-parasitaires, la Commission d'étude de la toxicité des produits anti-parasitaires et l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA).

Même si la France suivait l'exemple allemand qui avait également banni l'utilisation des triazines quelques mois auparavant, cette mesure d'interdiction a pu être contestée par de nombreux professionnels qui privilégiaient des mesures de restriction d'usage (en limitant les quantités épandues), plutôt que des mesures radicales d'interdiction. Les agriculteurs relèvent en effet que l'atrazine reste homologuée dans la plupart des pays de l'Union Européenne et en Amérique du Nord.

Cette décision se fonde sur trois motifs principaux :

- ▶ La présence généralisée dans les eaux souterraines et de surface (voir les rapports IFEN successifs), de l'atrazine et de ses produits dérivés à des concentrations supérieures à $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ de façon continue: 40 % des prélèvements effectués en eaux de surface et 25 % des prélèvements en eaux souterraines nécessitent la mise en place d'un traitement de l'eau,
- ▶ Une évaluation actualisée des risques sanitaires établie par l'AFSSA qui, si elle confirme l'absence de risques cancérigènes avérés, maintient sa recommandation de ne plus consommer l'eau lorsque la présence d'atrazine et de ses dérivés dépassent des valeurs-seuils situées à respectivement $0,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour les nourrissons, $0,6 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour les enfants et $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour les adultes, soit des niveaux atteints dans un nombre croissant de cas,
- ▶ Les précédentes mesures de restrictions d'usage n'ont pratiquement eu aucun effet sur les concentrations observées dans les eaux. L'atrazine est présente pratiquement partout. Les limitations étant sans effet, il a donc été décidé un arrêt total.

L'atrazine est donc un sujet complexe où le politique, l'économique et le social sont étroitement liés. En arrêtant la commercialisation de l'atrazine, l'administration commençait à mettre en place sa nouvelle politique environnementale envers les pesticides (sans résoudre le problème de fond), à savoir : "limiter l'utilisation des pesticides en augmentant les prix" (cf. Danemark et Bilan Inra-Cemagref de décembre 2005). L'atrazine a souffert de toutes ses qualités : très bonne efficacité sur l'ensemble des contextes pédoclimatiques, grande polyvalence, et surtout prix faible (plus de 30 ans de commercialisation).

Le fondement scientifique est ténu, dans la mesure où l'atrazine n'a que très peu d'impact avéré sur la santé et que les normes internationales n'imposaient nullement l'interdiction. Le produit reste d'ailleurs utilisé dans de nombreux pays. La décision se justifie néanmoins pleinement, tant à titre rétrospectif que prospectif. D'autre part, cette décision est un signal politique fort d'appel aux changements de pratiques agricoles. L'interdiction de l'atrazine a rendu possible les mesures de restriction d'usage des autres principales molécules (le diuron et l'isoproturon).

1.4. Les molécules de substitution de l'atrazine

De nouvelles molécules sont apparues sur le marché pour compenser l'interdiction des produits composés à partir d'atrazine. Cette interdiction a entraîné une forte concurrence entre les firmes de produits phytosanitaires en relançant le marché. Les molécules concurrentes à l'atrazine telles l'alachlore, le métolachlore et le sulcotrione (post-levée) sont moins performantes que l'atrazine, en ce qui concerne les propriétés physico-chimiques et

surtout les cibles visées. En effet, l'atrazine est considérée comme un produit à large spectre, et peut agir sur les dicotylédones ou les graminées et être appliquée en pré et post-levée. Ainsi, les firmes ont décidé de créer d'autres herbicides pouvant être aussi performants que l'atrazine tout en étant moins toxiques, à partir de dérivé provenant de molécules déjà existantes. Ainsi l'acétochlore (pré-levée), le S-métolachlore (pré-levée) et la mésotrione (post et pré-levée) sont apparus sur le marché après leurs homologations respectives. Les produits à base d'acétochlore (AstraZeneca) sont commercialisés en Espagne (depuis 1995) et en France (depuis 1999). Le S-métolachlore (Novartis) est moins nocif pour l'environnement que le métolachlore (aux États-Unis, il fait partie des antiparasitaires à risque réduit). La nouvelle molécule a obtenu ses premières homologations aux États-Unis en 1997, et le processus de remplacement du métolachlore par le S-métolachlore a été terminé en 2003 en Europe. La mésotrione (AstraZeneca) a été homologuée et inscrite à l'annexe I par la commission des communautés européennes et est entrée en vigueur à partir du 1^{er} octobre 2003. De même, le bentazone a été inscrit comme substance active sur l'annexe I de la directive 91/414/CEE du conseil concernant la mise sur le marché des produits pharmaceutiques le 23 octobre 2000.

Depuis l'interdiction de l'atrazine la commercialisation de mélange de substances actives augmente fortement et permet d'augmenter le spectre d'action du mélange (sulcotrione et nicosulfuron). D'autres produits ont aussi été commercialisés mais ont une part de marché moins importante : l'isoxaflutole (Aventis, 1998), l'isoxachlortole (Aventis, 2003), le foramsulfuron (Aventis, 2003), le flufenacet (Bayer, 1999), l'amicarbazone (Bayer, 2002), l'imazamox (American Cyanamid, 2000), le cycloxdim (BASF, 2001), le diflufenzopyr (BASF, 2003) et le tritosulfuron (BASF, 2003).

Ainsi dans ce rapport, les substances actives étudiées sont l'acétochlore, le S-métolachlore, la mésotrione, le bentazone, l'alachlore, le métolachlore et la sulcotrione.

Avant la mise sur le marché, les substances actives doivent être homologuées.

2. Homologations des produits phytosanitaires

2.1. *Qu'est ce que l'Autorisation de mise sur le marché (AMM) ou homologation ?*

L'AMM est une décision prise par le Ministre de l'Agriculture et de la Pêche, qui permet la distribution, la commercialisation et l'utilisation d'un produit phytosanitaire en France.

Une AMM est délivrée **pour un produit donné** ainsi que pour **un ou plusieurs usages agricoles définis**. Elle est **valable 10 ans** à compter de la première autorisation donnée pour un usage. Elle est renouvelable ([art. 19 du Décret n°94/359 du 5 mai 1994 relatif au contrôle des produits phytopharmaceutiques](#)).

En revanche, elle peut être retirée à tout moment et ceci pour les motifs suivants :

- les conditions requises pour son obtention ne sont pas ou plus remplies ;
- des indications fausses ou fallacieuses ont été fournies dans la demande d'autorisation ([art. 20-Décret n°94/359](#))

En d'autres termes, la procédure d'autorisation consiste à vérifier que les produits sont composés de substances autorisées pour l'usage et que, dans les conditions normales d'utilisation, ils sont efficaces et n'exercent aucun effet inacceptable sur l'environnement, la santé humaine ou animale. Cette procédure inclut également des exigences concernant leur emballage et leur étiquetage.

2.2. Contenu d'un dossier d'AMM

Le dossier d'homologation comporte des expérimentations sur les paramètres suivants :

- L'efficacité, la sélectivité et l'innocuité vis-à-vis de la culture concernée,
- La **toxicité** de la substance active (toxicité aiguë, toxicité chronique, effets spécifiques à long terme) qui permet d'évaluer les risques pour le manipulateur et le consommateur
- L'**écotoxicité** de la substance active (condition de dégradation de la substance dans le sol, dans l'eau et le sol, évaluation de risque envers la faune et la flore du sol, de l'eau, ainsi que pour d'autres organismes non cibles comme les abeilles, les vers de terre, la microflore du sol,...)

Pour cela, un certain nombre de tests sont réalisés pour le dossier d'homologation et prévus par la réglementation :

- **Détermination des propriétés physiques et chimiques** (inflammabilité, explosibilité, solubilité dans l'eau et les solvants, tension de vapeur,...) et évaluation de la validité des méthodes analytiques du produit (dans les végétaux, les denrées d'origine animale, l'eau, l'air, le sol).

- **Evaluation de la toxicité pour l'homme**

Les informations fournies doivent être suffisantes pour permettre une évaluation des risques pour l'homme, découlant de la manipulation et de l'utilisation de produits phytopharmaceutiques contenant la substance active, et du risque pour l'homme dû aux résidus contenus dans les aliments et dans l'eau. En outre, elles doivent être pertinentes pour permettre de :

- établir une Dose journalière acceptable (DJA) pertinente pour l'homme;
- établir des Niveaux acceptables d'exposition de l'opérateur (NAEO);
- fixer les symboles des dangers, les indications relatives aux dangers et les phrases types relatives à la nature des risques et aux conseils de prudence pour la protection de l'homme, des animaux et de l'environnement à faire figurer sur l'emballage (conteneurs);
- définir les mesures adéquates en soins d'urgence ainsi que les mesures appropriées concernant le diagnostic correct et les traitements thérapeutiques en cas d'empoisonnement chez l'homme.

- **Résidus dans ou sur les produits traités, les denrées alimentaires et les aliments pour animaux**

Les informations fournies doivent être suffisantes pour permettre une évaluation des risques pour l'homme provenant des résidus de la substance active et des métabolites pertinents, produits de dégradation et de réaction restant dans l'aliment.

- **Devenir et comportement dans l'environnement**

Les informations fournies doivent être suffisantes pour permettre une évaluation du devenir et du comportement de la substance active dans l'environnement, ainsi que l'identification des espèces non cibles pouvant être menacées par une exposition à la substance active, ses métabolites et produits de dégradation et de réaction quand ils peuvent avoir une incidence toxicologique ou environnementale.

En outre, elles doivent être pertinentes pour :

- fixer les symboles de danger, les indications relatives au danger et les phrases types relatives à la nature des risques et aux conseils de prudence pour la protection de l'environnement, à faire figurer sur l'emballage (conteneurs),

- prévoir la dispersion, le devenir et le comportement dans l'environnement de la substance active et des métabolites et produits de dégradation et de réaction significatifs ainsi que les durées correspondantes,
- identifier les espèces et populations non cibles menacées en raison d'une exposition éventuelle
- identifier les mesures nécessaires afin de minimiser la contamination de l'environnement et l'incidence sur les espèces non cibles.

Pour cela, les conditions de dégradation doivent être étudiées dans les différents compartiments de l'environnement :

❖ **Dégradation des pesticides et étude de sa mobilité dans divers types de sol**

- Terrain, laboratoire, différentes températures, aérobie/anaérobie, photolyse

→ Accès aux DT 50 et DT 90 de la substance active et des métabolites

- Études de mobilité dans le sol (laboratoire, lysimètres, colonnes de sol)

→ Constantes d'adsorption, de désorption, constantes d'équilibre, prédiction de la fraction de substance active et de ses produits de dégradation susceptible de migrer vers les eaux souterraines

❖ **Transfert des pesticides vers les eaux/dégradation des pesticides dans l'eau**

Études de dégradation dans l'eau (photolyse, hydrolyse à différents pH, aérobie/anaérobie, biodégradabilité, dégradation dans un système eau-sédiment)

→ Accès aux DT50, DT90 de la substance active et de ses métabolites

→ Répartition entre la colonne d'eau et le compartiment sédimentaire

❖ **Volatilisation des pesticides et leur dégradation dans l'air**

→ Accès à la pression de vapeur, constante de Henry et à la DT50

➤ **Tests d'écotoxicité sur les organismes vivants :**

Les informations fournies doivent être suffisantes pour permettre d'évaluer l'impact sur les espèces non cibles (flore et faune) dont l'exposition à la substance active, à ses métabolites peut être dangereuse. L'impact peut être dû à une exposition unique ou prolongée et peut être réversible ou irréversible.

Les informations doivent être pertinentes pour :

- une évaluation des risques à court aussi bien qu'à long terme pour les espèces non cibles (populations, communautés et processus, selon le cas);
- classer la substance active en fonction du danger;
- préciser les précautions à prendre pour protéger les espèces non cibles;
- définir les symboles des dangers, les indications du danger et les phrases relatives à la nature des risques ainsi qu'aux conseils de prudence pour la protection de l'environnement à faire figurer sur les emballages (conteneurs).

Pour plus de précisions, consultez la liste des tests présente en [Annexe A](#).

2.3. Homologation officielle

La mise sur le marché des produits phytosanitaires est régie par la [directive 91/414/CEE du 15 juillet 1991](#). Elle harmonise les conditions d'obtention d'une autorisation de mise sur le marché. Elle a été traduite en droit français par le [Décret n°94/359 du 5 mai 1994 relatif au contrôle des produits phytopharmaceutiques et ses arrêtés d'application](#).

En Europe, la vente suit une procédure rigoureuse en deux phases. En effet, l'AMM fait intervenir deux niveaux d'intervention : européen et national.

➤ *Le niveau européen concerne les **substances actives***

Avant inscription, chaque nouvelle substance active est confiée à un État membre qui devient "Membre Rapporteur". Ce dernier est chargé de diriger et mener la réévaluation toxicologique et écotoxicologique de la substance active. La décision finale relève de l'expertise de l'ensemble des États membres (experts regroupés dans le « comité permanent de la chaîne alimentaire et de la santé » depuis 2002).

Depuis 1993, à la fin du processus et au vu des résultats, il est décidé d'inscrire ou non la nouvelle substance active sur la liste positive communautaire appelé aussi **ANNEXE I**, pour une durée de 10 ans renouvelable.

En revanche, les substances actives autorisées antérieurement à cette date et soutenues par les firmes seront réexaminées et réévaluées en appliquant les nouveaux critères toxicologiques d'acceptation. A la suite de l'instruction des matières anciennes, soit la matière est inscrite sur la liste communautaire de l'annexe I pour une durée de 10 ans, soit son inscription est refusée et les autorisations antérieures de mise sur le marché sont retirées.

Pour cela, les substances actives sont évaluées dans le cadre de la [directive 91/414/CEE](#) qui fixe les études nécessaires à cette évaluation.

Ces études couvrent différents domaines:

- propriétés physiques et chimiques,
- méthodes d'analyse dans l'eau, le sol, l'air et les végétaux,
- évaluation de la toxicité pour l'homme,
- évaluation du métabolisme et des résidus dans les végétaux,
- évaluation du devenir de la substance et son comportement dans l'environnement,
- évaluation du risque pour la faune et la flore.
- effets potentiels sur l'homme des substances ou de leurs métabolites présents dans l'environnement.

➡ Un classement et un étiquetage concernant les dangers pour l'homme, l'environnement et les propriétés physiques et chimiques sont établis.

Au vu des tests et suivant l'inscription à l'Annexe I, chaque spécialité se voit également attribuer un **classement toxicologique**.

➤ *Le niveau national concerne l'évaluation des **préparations commerciales contenant une ou plusieurs substances actives***

L'homologation communautaire est la première étape nécessaire, mais non suffisante. La deuxième phase, nationale, porte sur l'autorisation de vente des préparations commerciales.

Ainsi, l'autorisation de vente dite aussi autorisation de mise sur le marché reste à l'appréciation des États membres. Une spécialité peut donc être autorisée en France, mais pas dans un autre État, et inversement.

Tout d'abord rappelons la composition du produit commercial. En général, il comprend :

-La ou les substances actives.

-Les adjuvants qui permettent d'améliorer la stabilité du produit mais aussi l'efficacité des substances actives.

Cependant, il est important de noter que seuls sont autorisés les produits phytopharmaceutiques dont les substances actives figurent sur la liste de l'annexe I de la directive et qui ne présentent pas de risque pour la santé humaine ou animale, ni pour l'environnement lorsque le produit est utilisé dans des conditions normales.

Au niveau national, l'obtention de l'homologation d'un produit phytosanitaire dépend de 2 exigences qui font l'objet d'études détaillées fournies par les firmes :

- *L'intérêt*

Reconnaissance de l'efficacité du produit et de sa sélectivité vis-à-vis des végétaux traités.
Ceci permet de constituer un DOSSIER BIOLOGIQUE

o *Les risques*

-Reconnaissance de son innocuité à l'égard de la santé humaine (exposition opérateur, risque consommateur,...). Ceci est à la base du DOSSIER TOXICOLOGIQUE.

-Reconnaissance de son innocuité à l'égard de l'environnement (eau, air, sol, effets sur faune et flore). Ceci constitue le DOSSIER ECO TOXICOLOGIQUE.

L'AMM des produits relève de la compétence de la Direction générale de l'alimentation (DGAL) du Ministère chargé de l'agriculture qui s'appuie sur plusieurs instances.

La **Commission d'études des toxiques** composée uniquement d'experts indépendants (toxicologues, écotoxicologues, médecins, vétérinaires, agronomes) s'appuie également sur un réseau de 50 experts associés. Les représentants des diverses administrations concernées (Ministères de l'Agriculture, de l'Ecologie, de la Santé, de l'Economie) sont présents en tant qu'observateurs. Elle donnera son avis au vu des nombreux tests de toxicité aiguë, chronique des substances et de leurs métabolites, vis-à-vis des applicateurs et des consommateurs mais aussi des tests d'écotoxicité.

C'est ensuite le **Comité d'Homologation** en tenant compte du dossier biologique qui élabore une proposition de décision au vu de ces évaluations.

Par ailleurs, la **Commission des produits antiparasitaires** réunit les représentants des administrations et de la société civile : fabricants et distributeurs de produits, organisations techniques et professionnelles agricoles, organisations de défense des consommateurs et de l'environnement, autour de questions générales liées à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques. Elle a un rôle purement consultatif.

Finalement, l'autorisation de mise sur le marché est accordée ou non par le Ministre de l'Agriculture.

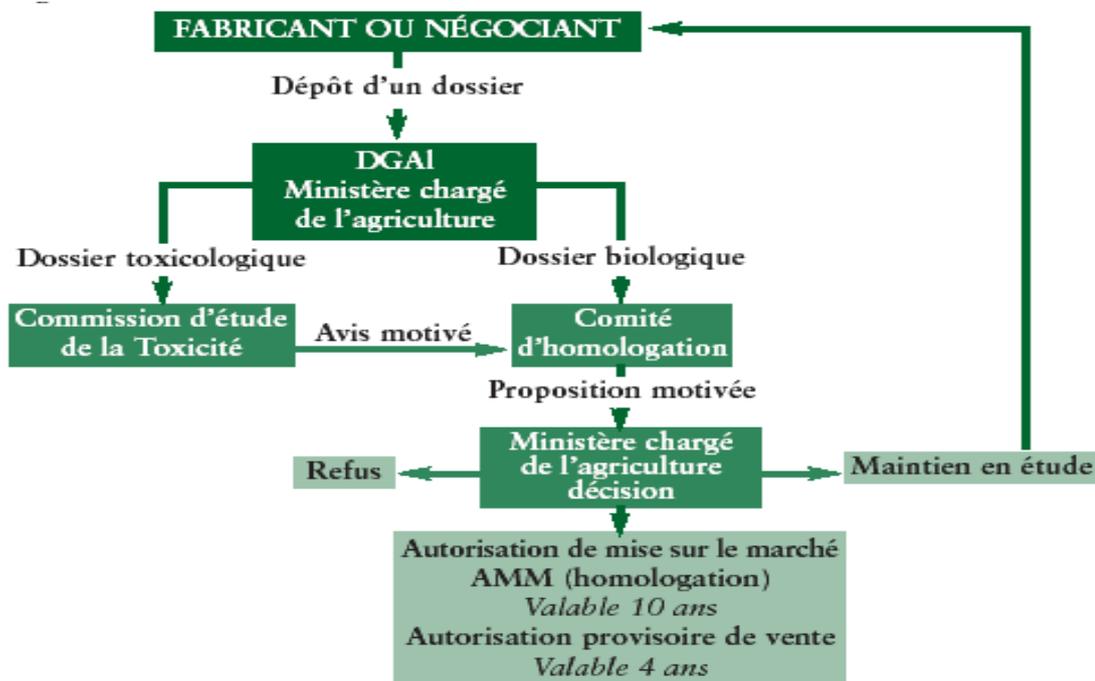


Figure 1: Procédure de mise sur le marché

En conséquence, si l'AMM est accordée par le Ministre de l'Agriculture elle n'est valable que pour le territoire national. Ainsi, rien n'empêche des pays frontaliers d'avoir des politiques différentes : l'un interdisant l'autorisation de mise sur le marché d'une substance tandis que le second peut l'autoriser.

En revanche, ces autorisations sont provisoires. L'Etat peut aussi décider de limiter les usages pendant certaines périodes ou sur certains lieux, voire de retirer l'autorisation de vente, ce qui fait cesser la commercialisation, et d'interdire l'usage de certains produits phytosanitaires.

Par ailleurs, chaque homologation porte sur un **seul usage** et en fixe précisément **les conditions de mise en œuvre**, qui devront être indiquées sur l'emballage du produit.

2.4. La santé des consommateurs

- Qu'appelle-t-on " résidu " ?

On entend par résidu, toute trace de produits phytosanitaires ou d'éventuels produits de dégradation (métabolites) présente dans les denrées alimentaires destinées à l'homme ou à l'animal.

Lors de l'homologation des produits phytosanitaires, une partie importante des études et des évaluations est consacrée à la santé du consommateur. Le but est de s'assurer que dans les conditions normales d'emploi (doses homologuées, stade d'application convenable...), les produits présentent un risque minimum clairement évalué pour le consommateur.

- Comment est mesuré l'impact sur la santé du consommateur ?

La quantité maximale de résidus qui peut être ingérée par l'homme, est déterminée à partir de l'évaluation de la **Dose sans effet (DSE)**. Elle correspond à la dose maximale de substance pour laquelle on n'observe aucun effet décelable chez l'animal le plus sensible soumis au test le plus sévère.

La Dose sans effet est évaluée par des études à court terme (28 jours à 3 mois), puis complétée par des études à long terme (18 mois à 2 ans).

En divisant par un coefficient de sécurité (au minimum par 100) la dose sans effet, on obtient la **Dose journalière acceptable (DJA)** pour l'exposition à long terme. Elle correspond à la quantité maximale de résidus qui peut être ingérée quotidiennement par un individu, durant toute sa vie, sans risque pour sa santé.

Les niveaux de résidus susceptibles d'être ingérés quotidiennement par un individu sont mesurés par leur présence dans différents produits du "panier type de la ménagère". Il comporte des produits frais, des produits transformés (ex : vin, bière,...), des aliments d'origine animale (lait, œufs, viande,...) et de l'eau.

La somme des résidus contenus dans ce panier ne doit pas dépasser la **Dose journalière acceptable ou la Dose de référence aiguë**.

Les niveaux de résidus susceptibles de se retrouver dans les aliments sont mesurés expérimentalement à travers des essais qui tiennent compte des conditions d'emploi des produits recommandés par les fabricants (dose, nombre d'applications, délai avant récolte...).

Par ailleurs, une **LMR (Limite maximale de résidus)** de pesticides est fixée lors de l'autorisation de mise sur le marché du produit phytosanitaire par matière active et par culture. Elle correspond aux quantités maximales attendues établies à partir des bonnes pratiques agricoles. Elles sont données pour des fruits ou légumes ni lavés, ni épluchés. Fixée au niveau français, européen et international, elle s'exprime en milligramme de substance par kilogramme de végétal.

- Comment est mesurée la présence de résidus dans les produits alimentaires ?

Le programme de surveillance pour les pesticides d'origine végétale est conduit par la Direction générale de la concurrence de la consommation et de la répression des fraudes

(DGCCRF). La présence de résidus est rigoureusement contrôlée dans les aliments frais après analyses dans leurs laboratoires.

- Faut-il s'inquiéter de la présence de résidus dans les aliments ?

Il est important de souligner que même en cas de dépassement de cette LMR, il n'y a généralement aucun risque pour la santé du consommateur. En effet, elles sont déterminées de telle sorte d'être bien inférieures au seuil toxicologique des molécules.

Afin de pallier à l'utilisation de l'atrazine, de nombreuses molécules de substitution ont été fabriquées. Nous allons principalement nous intéresser à sept d'entre elles, en donnant leur identité et propriétés chimiques et en évaluant leur toxicité vis-à-vis de l'environnement, des animaux et de l'homme.

3. Les pesticides et le milieu naturel

Quelque soit le lieu d'application de l'herbicide, seule une petite quantité atteint effectivement la plante visée. Le reste du produit est donc diffusé dans les différents compartiments de l'environnement : eau, air et sol.

Il est difficile d'évaluer cette perte car cela dépend de nombreux paramètres :

- caractéristiques physico-chimiques propres à la molécule
- climat
- lieu d'application (nature du sol)
- mode d'application....

Il existe différents chemins que peuvent emprunter les pesticides après leur application :

- Dériver vers l'atmosphère avant même d'avoir atteint le sol. Ce phénomène est bien évidemment accentué par périodes de grand vent ou lors d'application par voie aérienne.
- Atteindre le sol et
 - Se volatiliser par évaporation de l'eau contaminée présente dans le sol ou être transportés vers l'atmosphère grâce au vent en même temps que les particules du sol où sont fixées les matières actives.
 - Être emportés par ruissellement vers les eaux superficielles ou s'infiltrer vers les nappes phréatiques.
 - Rester en solution dans l'eau contenue dans le sol et se biodégrader.
 - Être adsorbés par certains constituants du sol (colloïdes) puis désorbés dans l'eau contenue dans le sol.
- Atteindre des plantes non cibles qui absorbent les pesticides, les stockent dans les tissus végétaux puis les relarguent par évapotranspiration.

La volatilisation des pesticides.

Elle est déterminée par la valeur de la constante de Henry (H). Plus la valeur de H est élevée, plus le produit aura tendance à se volatiliser (si $H < 10^{-5}$, le produit aura peu de risque de se volatiliser).

Le transfert de pesticides dans les eaux

Un produit peut arriver dans les eaux de plusieurs manières :

- directement parce qu'on a pulvérisé le produit au-dessus d'un cours d'eau ou parce qu'on rince le pulvérisateur au-dessus d'un évier ou d'une bouche d'égout
- par ruissellement des molécules à la surface du sol

- par drainage
- par percolation vers les eaux souterraines (lessivage)

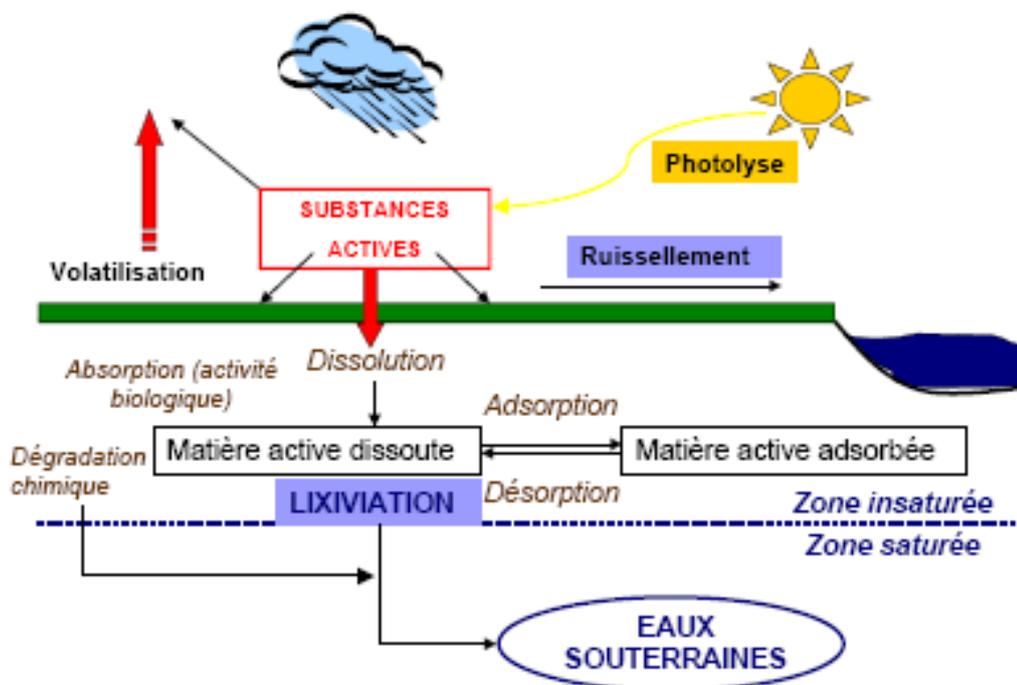


Figure 2: Mécanisme de transfert à l'eau.

Pour évaluer le risque de transfert vers les eaux, six critères ont été retenus par le Comité de liaison entre les Ministères de l'Environnement, de l'Agriculture et de la Santé :

- le **coefficient de partage carbone organique-eau** (Koc) qui permet d'évaluer la mobilité de la substance dans le sol
- la **vitesse d'hydrolyse de l'eau** (HDLYS) et le **temps de demi-vie** (DT50) de la substance active qui permettent d'évaluer la persistance de la molécule
- la **superficie traitée** (SURF) et la **dose moyenne de traitement** (DOSE)
- la **solubilité dans l'eau** de la substance active (SOLU)

Pour les eaux superficielles, l'ordre d'importance des paramètres est : SURF et DOSE > SOLU > DT50 et HDLYS > KOC.

Pour les eaux souterraines, l'ordre d'importance des paramètres est : KOC > DT50 et HDLYS > SURF et DOSE > SOLU.

Evaluation du temps de dégradation d'un pesticide

Le temps de dégradation dépend du degré de biodégradabilité de la substance ainsi que de ses métabolites.

Il existe deux processus de dégradation :

- biodégradation : les substances actives sont dégradées sous l'effet des microorganismes du sol. C'est le processus majeur de dégradation.
- dégradation abiotique (qui ne fait pas intervenir d'organismes vivants) : les substances actives sont dégradées sous l'effet de la lumière (photolyse) ou dans l'eau (hydrolyse).

Cependant, la biodégradation d'une substance dépend de plusieurs facteurs :

- la nature même de la molécule
- la nature du sol (type de sol, pH, température, teneur en eau)
- l'historique de traitement du sol : un sol habitué à recevoir toujours la même substance active la dégradera plus rapidement qu'un sol qui la reçoit pour la première fois.

3.1. Caractéristiques chimiques.

Il existe 10 symboles de risques toxicologiques et un symbole de risque écotoxicologique. (Annexe B) A chaque symbole de risque, la loi demande d'associer des phrases de risque (phrases R) pour préciser la nature du risque encouru.

Parfois, quelques conseils de prudence (phrases S) sont également ajoutés. (Annexe C)

Attention cependant, il existe énormément d'erreurs d'étiquetage (oubli du symbole de risque, erreur dans la composition...).

De plus, les risques cancérigène, mutagène et toxique ne font pas l'objet d'un symbole de risque mais d'une phrase de risque.

Le symbole N-dangereux pour l'environnement est uniquement utilisé pour les substances actives mais pas pour les produits formés. Par exemple, des produits peuvent contenir des molécules dangereuses pour les abeilles ou les coccinelles sans que cela soit indiqué.

Enfin, il n'existe pas de règles en matière de classement toxicologique des produits formulés : un produit classé « nocif » en Europe peut être « toxique » aux Etats-Unis.

Les molécules étudiées ici sont : l'alachlore, l'acétochlore, le bentazone, la mésotrione, le métolachlore, le S-métolachlore et la sulcotrione. (Annexe D)

Dans le tableau suivant, sont répertoriées toutes les propriétés chimiques des molécules, leur risque (sur l'homme ou la nature) ainsi que les paramètres servant à évaluer la toxicité pour l'environnement. L'atrazine figure également dans ce tableau afin de la comparer aux différentes molécules de substitution.

Molécule	Numéro CAS	Nom IUPAC	Etat physique	Classe chimique	Risques (D)	R (annexe C)	S (annexe C)
Atrazine	1912-24-9	2-chloro-4-éthylamino-6-isopropylamino-1,3,5-triazine	Cristallin solide, Incolore	triazine	Xn, N,T	22,43,48,50,53	2,36,37,60,61
Acétochlore	34256-82-1	2-Chloro-N-(ethoxymethyl)-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)	Liquide huileux. Odeur aromatique	chloroacétanilide	Xn, N	20,37,38,40,43,50,53	2,14,36,37,60,61
Alachlore	15972-60-8	2-chloro-2',6'-diethyl-N-methoxymethylacetanilide	Solide cristallisé	chloroacétanilide	Xn, N	22,40,43,50,53	2,30,36,37,39,46,60,61
Bentazone	25057-89-0	3-Isopropyl-1H-2,1,3-benzothiadiazin-4(3H)-one-2,2-dioxide	Solide cristallisé. Sans odeur.	thidiazinone	Xn	16,22,36,43,52,53	2,7,8,24,25,37,61
Mésotrione	104206-82-8	2-(4-mesyl-2-nitrobenzoyl)cyclohexane-1,3-dione	Solide jaune pâle. Légère odeur sucrée.	tricétone	N	50,53	60,61
Métolachlore	51218-45-2	2-Chloro-6'-ethyl-n-(2-methoxy-1-méthylethyl)-o-acetotoluidine	Liquide huileux brun. Légère odeur.	chloroacétamide		36,38,40,60	15,16
S-métolachlore	87392-12-9	S)-2chloro-N-(2-ethyl-6-methyl-phenyl)-N-(2-methoxy-1-methyl-ethyl)-acétamide(R)-2chloro-N-(2-ethyl-6-methyl-phenyl)-N-(2-methoxy-1-methyl-ethyl)-acétamide	Liquide jaune clair	chloroacétanilide	Xi, N	43,50,53	2,24,37,60,61
Sulcotrione	99105-77-8	2-(2-chloro-4-mesylbenzoyl)cyclohexane-1,3-dione	Solide amorphe	tricétone	Xi	36,40,43	36,37

Tableau 2 : Identité des molécules

Molécule	Formule brute	Masse molaire (g/mol)	Point de fusion (°C)	Point d'ébullition (°C)	Point d'inflammabilité (°C)	Densité
Atrazine	C ₈ H ₁₄ ClN ₅	215,7	133	310	nc	1,2
Acétochlore	C ₁₄ H ₂₀ ClNO ₂	269,8	< 0	134	> 93	1,136
Alachlore	C ₁₄ H ₂₀ ClNO ₂	269,8	39-42	404	198	1,133
Bentazone	C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₃ S	240,3	137-139	357	200	1,47
Mésotrione	C ₁₄ H ₁₃ NO ₇ S	339,3	150	nc	nc	3,12
Métolachlore	C ₁₅ H ₂₂ ClNO ₂	283,8	nc	406	190	1,12
S-métolachlore	C ₁₅ H ₂₂ ClNO ₂	283,8	nc	nc	nc	nc
Sulcotrione	C ₁₄ H ₁₃ ClO ₅ S	328,8	139	nc	nc	3,13

Tableau 3 : Caractéristiques chimiques

Molécule	pression de vapeur (Pa)	hydrosolubilité (mg/L)	Log Kow	H (Pa.m ³ /mol)	Koc (L/kg)	vitesse d'hydrolyse = temps de demi-vie	pKa
Atrazine	3,85.10 ⁻⁵	30	2,75	2.6.10 ⁻⁴	90	>80 jours à pH neutre. instable à pH<3 et pH>10	1,7
Acétochlore	3,4.10 ⁻⁵	223	3,03	4,27.10 ⁻³	202	> 31 jours pour 5<pH<9	nc
Alachlore	2,9.10 ⁻³	148	2,8	2,1.10 ⁻³	122	Instable (11jours) pour 13<pH<14 et stable à pH 7.	nc
Bentazone	1,76.10 ⁻⁴	500	2,8	7,2.10 ⁻⁵	34	> 30 jours de 5<pH<9	3,28
Mésotrione	5,69.10 ⁻⁶	> 1000	> 1	5,1.10 ⁻⁷	209	80-90 jours de 4<pH<9	3,12
Métolachlore	8.10 ⁻⁵	530	3,13	9.10 ⁻⁵	108	100 jours de 5<pH<9	nc
S-métolachlore	3,7.10 ⁻³	480	3,05	2,2.10 ⁻³	240	75 jours pour 5<pH<9	pas de dissociation
Sulcotrione	5,39.10 ⁻⁶	165	2,31	9,83.10 ⁻⁶	90	100 jours à pH 7	nc

Tableau 4 : Paramètres environnementaux

3.2. Interprétation des tableaux

Toutes les molécules de substitution sont plus solubles dans l'eau que l'atrazine. Même si cette hydrosolubilité est dépendante du pH, on observe de très fortes valeurs (pouvant aller jusqu'à 2500 mg.L⁻¹ à pH neutre pour la mésotrione). Cette forte solubilité indique bien évidemment un potentiel élevé de transfert vers les eaux notamment accentué par le lessivage.

Deux substances sur sept (mésotrione et sulcotrione) ont une constante $H < 1.10^{-5}$ Pa.m³/mol, leur tendance à se volatiliser est donc très faible. Toutes les autres molécules sont susceptibles d'être transférées vers l'atmosphère. Pour l'acétochlore, l'alachlore et le S-métolachlore, cette tendance est d'ailleurs plus prononcée que pour l'atrazine.

Les pesticides par rapport à l'environnement, l'homme, la faune et la flore

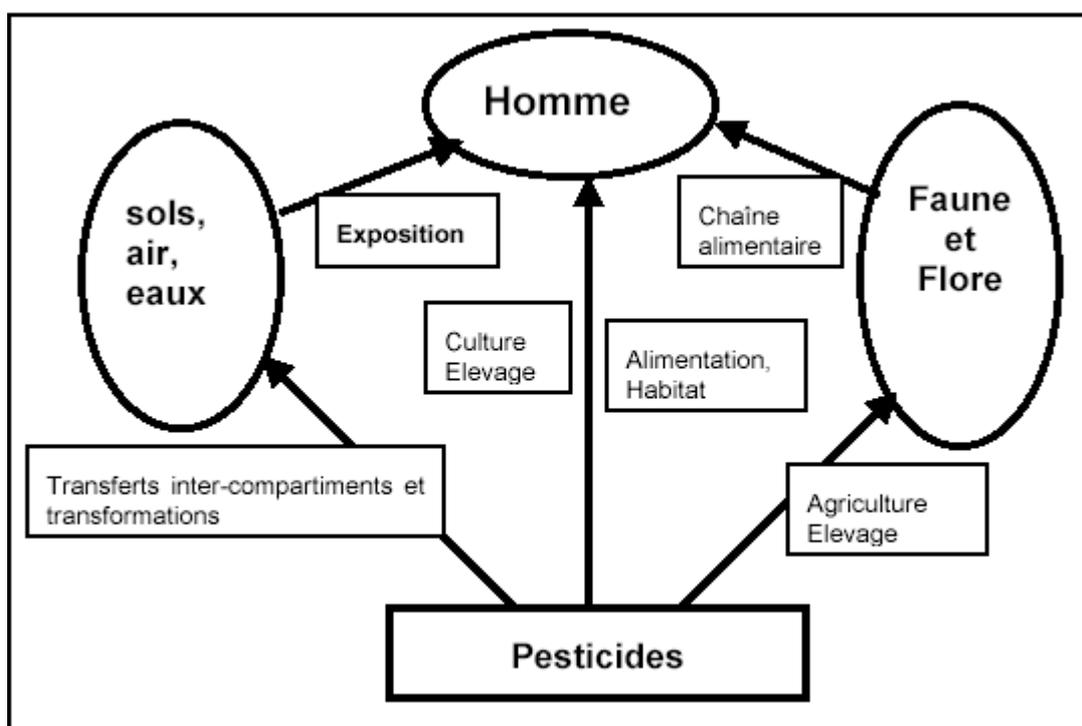


Figure 3 : Modes d'exposition de l'homme et des milieux par les pesticides

4. Ecotoxicité

Dans cette partie nous allons répondre aux tests écotoxicologiques inscrits dans l'annexe II de la directive 91/414/CEE du 15 juillet 1991. Les molécules étudiées sont la sulcotrione, la mésotrione, l'alachlore, l'acétochlore, le bentazone et le S-métolachlore.

4.1. Sulcotrione

Son principal métabolite est le CMBA (Acide 2-chloro-4-(méthylsulfonyl)-benzoïque), mais suivant les pratiques culturales et les conditions pédoclimatiques, les métabolites

retrouvés pourront différer. Ainsi, il est difficile d'évaluer le réel impact de cette molécule sur l'environnement et par conséquent sur la faune et la flore.

Effets sur les oiseaux et vertébrés terrestres

Toxicité aiguë orale		Toxicité alimentaire	
Canard colvert	Colin de Virginie	Canard colvert	Colin de Virginie
DL50>1350 mg.kg ⁻¹ p.c.	DL50>2250 mg.kg ⁻¹ p.c.	CL50>5620 mg.kg ⁻¹ p.c.	CL50>5620 mg.kg ⁻¹ p.c.

N.B :p.c. =poids corporel

Effets sur les organismes aquatiques

Toxicité aiguë chez les poissons		Toxicité aiguë chez les invertébrés vivant dans l'eau ou les sédiments
Carpe	Truite arc-en-ciel	Daphnies
CL50=240 mg.l ⁻¹	CL50=227 mg.l ⁻¹	CE50>100 mg.l ⁻¹

Algues : CL50=3,5 mg.l⁻¹

Des études faites sur la truite arc-en-ciel ont montré qu'il y aurait des effets génotoxiques en fonction de la concentration de la molécule dans l'eau.

Effets sur les abeilles

DL50 contact >200 µg/abeille

DL50 orale >50 µg/abeille

4.2. Mésotrione

Ses métabolites sont : l'AMNB (acide méthylsulfonyl-2-nitrobenzoïque) et l'AAMB (acide 2-amino-4-méthylsulfonylbenzoïque), le 4-hydroxymésotrione, le 5-hydroxymésotrione.

Effets sur les oiseaux et vertébrés terrestres

Toxicité aiguë orale	Toxicité alimentaire	
Colin de Virginie	Canard colvert	Colin de Virginie
DL50>2000 mg.kg ⁻¹ p.c.	CL50>5200 mg.kg ⁻¹ p.c.	CL50>5200 mg.kg ⁻¹ p.c.

Effets sur les organismes aquatiques

Toxicité aiguë chez les poissons		Toxicité aiguë chez les invertébrés vivant dans l'eau ou les sédiments
Crapet	Truite arc-en-ciel	Daphnies
CL50>120 mg.l ⁻¹	CL50>120 mg.l ⁻¹	CE50>622 mg.l ⁻¹

Algues : CL50=67 mg.l⁻¹

Effets des métabolites

Toxicité aiguë chez la truite arc-en-ciel		Toxicité aiguë chez Daphnies	
AMNB	AAMB	AMNB	AAMB

CL50>120 mg.l ⁻¹	CL50=150 mg.l ⁻¹	CE50=130 mg.l ⁻¹	CE50= 160 mg.l ⁻¹
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------

Effets sur les abeilles

DL50 contact >100 µg/abeille

DL50 orale >14,4 µg/abeille

Effets sur les vers de terres et autres macro-organismes non ciblés du sol

Eisenia (ver rouge) : CL50>2000 mg.kg⁻¹ de sol

AMNB pour Eisenia : CL50>1000 mg.kg⁻¹ de sol

4.3. Alachlore

Effets sur les oiseaux et vertébrés terrestres

Toxicité aiguë orale	
Canard colvert	Caille des blés
DL50>2000 mg.kg ⁻¹ p.c.	DL50=1536 mg.kg ⁻¹ p.c.

Effets sur les organismes aquatiques

Toxicité aiguë chez les poissons		Toxicité aiguë chez les invertébrés vivant dans l'eau ou les sédiments
Poisson rouge	Truite	Daphnies
CL50>2,8 mg.l ⁻¹	CL50=1,8 mg.l ⁻¹	CE50>10 mg.l ⁻¹

Algues : CL50=0,11 mg.l⁻¹

Effets sur les abeilles

DL50 >32 mg/abeille

4.4. Acétochlore

Ses métabolites sont l'acétochlore éthanesulfurique et l'acétochlore oxanilique.

Effets sur les oiseaux et vertébrés terrestres

Toxicité aiguë orale		Toxicité alimentaire	
Canard colvert	Colin de Virginie	Canard colvert	Colin de Virginie
DL50>2000 mg.kg ⁻¹ p.c.	DL50=31 mg.kg ⁻¹ p.c.	CL50>5200 mg.kg ⁻¹ p.c.	CL50>5200 mg.kg ⁻¹ p.c.

Effets sur les organismes aquatiques

Toxicité aiguë chez les poissons			Toxicité aiguë chez les invertébrés vivant dans l'eau ou les sédiments
Carpe	Crapet	Truite arc-en-ciel	Daphnies
CL50=2,68 mg.l ⁻¹	CL50=0,36 mg.l ⁻¹	CL50=0,36 mg.l ⁻¹	CE50=8,4 mg.l ⁻¹

Algues : CL50=0,0013 mg.l⁻¹

Effets sur les abeilles

DL50 contact >100 µg/abeille

DL50 orale >100 µg/abeille

Effets sur les vers de terres et autres macro-organismes non ciblés du sol

Eisenia (ver rouge) : CL50=211 mg.kg⁻¹ de sol

4.5. Bentazone

Effets sur les oiseaux et vertébrés terrestres

Toxicité aiguë orale		Toxicité alimentaire	
Caille des blés	Colin de Virginie	Canard colvert	Colin de Virginie
DL50=720 mg.kg ⁻¹ p.c.	DL50>1140 mg.kg ⁻¹ p.c.	CL50>5000 mg.kg ⁻¹ p.c.	CL50>5000 mg.kg ⁻¹ p.c.

Effets sur les organismes aquatiques

Toxicité aiguë chez les poissons			Toxicité aiguë chez les invertébrés vivant dans l'eau ou les sédiments
Carpe	Crapet	Truite arc-en-ciel	Daphnies
CL50>1000 mg.l ⁻¹	CL50>100 mg.l ⁻¹	CL50>100 mg.l ⁻¹	CE50=64 mg.l ⁻¹

Algues : CL50=62 mg.l⁻¹

Effets sur les abeilles

DL50 contact >200 µg/abeille

DL50 orale >200 µg/abeille

Effets sur les vers de terres et autres macro-organismes non ciblés du sol

Eisenia (ver rouge) : CL50>870 mg.kg⁻¹ de sol

4.6. S-métolachlore

Aucune donnée concernant des tests sur l'écotoxicité de cette molécule.

Toutes ces molécules ont une toxicité avérée pour l'environnement. Nous allons maintenant nous intéresser à la toxicité pour l'homme.

5. Toxicologie

Dans cette partie nous allons répondre aux tests toxicologiques inscrits dans [l'annexe II de la directive 91/414/CEE du 15 juillet 1991](#). Nous étudierons les mêmes molécules que dans la partie précédente.

5.1. Sulcotrione

Toxicité

Toxicité aiguë		Irritation (lapin)	
Par voie orale (rat)	Par voie dermale (lapin)	Cutanée	Oculaire
DL50>5000 mg.kg ⁻¹	DL50>4000 mg.kg ⁻¹	Aucune	Légèrement irritant

DJA=0,00005 mg.kg⁻¹.j⁻¹

Le CIRC a classé cette molécule comme substance cancérigène en 3^{ème} catégorie, c'est-à-dire que les preuves du pouvoir cancérigène pour l'homme n'ont pas été établies.

Mode d'action :

Chez les végétaux : inhibition de l'enzyme HPPD (hydroxy-phényl-pyruvate-dioxygénase) : les précurseurs de la synthèse de la chlorophylle et des caroténoïdes ne sont pas synthétisés d'où blanchiment des végétaux. La plante meurt par manque d'énergie. La substance pénètre par les feuilles et les racines.

Chez les mammifères : inhibition de la même enzyme ce qui provoque une inhibition de l'activité hépatique. Il peut aussi avoir une atteinte oculaire. Cette molécule est éliminée par voie rénale.

5.2. Mésotrione

Toxicité

Toxicité aiguë		Irritation (lapin)	
Par voie orale (rat)	Par voie dermale (rat)	Cutanée	Oculaire
DL50>5000 mg.kg ⁻¹	DL50>2000 mg.kg ⁻¹	Aucune	Aucune

DJA=0,01 mg.kg⁻¹.j⁻¹

Différents tests ont montré que l'exposition à long terme à cette molécule provoquait une kératite, chez le chien, c'est-à-dire une inflammation de la cornée, et une diminution de la réponse immunitaire.

Mode d'action :

La mésotrione a une action foliaire (sur les feuilles), racinaire et anti-germinative. Comme la sulcotrione, elle agit sur l'enzyme HPPD. Elle est aussi éliminée par voie rénale. D'après les tests, cette molécule ne serait ni cancérigène, ni génotoxique et elle n'aurait pas d'effets neurotoxiques.

Les métabolites de cette molécule ont également été étudiés. Ils sont moins toxiques que le produit d'origine mais sont aussi irritants pour la peau et les yeux.

5.3. Alachlore

Toxicité

Toxicité aiguë		Irritation (lapin)	
Par voie orale (rat)	Par voie dermale (lapin)	Cutanée	Oculaire

DL50=930 mg.kg ⁻¹	DL50=13300 mg.kg ⁻¹	Légèrement irritant	Irritant
DJA=0,0005 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹			

Le CIRC a classé cette molécule en tant que substance cancérigène de 3^{ème} catégorie (comme la sulcotrione).

L'alachlore serait éventuellement un perturbateur endocrinien. Il y aurait des risques de leucémie, de cancer du sang, de la moelle osseuse et de la prostate.

Mode d'action :

C'est un inhibiteur des élongases et des enzymes de cyclisation du ggpp (géranyl-géranyl pyrophosphate) conduisant aux gibbérellines. En inhibant ces enzymes, la molécule empêche la croissance de la plante. La substance pénètre dans la plante par les racines.

5.4. Acétochlore

Toxicité

Toxicité aiguë		Irritation (lapin)	
Par voie orale (rat)	Par voie dermale (rat)	Cutanée	Oculaire
DL50>4000 mg.kg ⁻¹	DL50>2000 mg.kg ⁻¹	Très irritant	Aucune
DJA=0,02 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹			

Le CIRC a classé cette molécule en tant que substance cancérigène de 3^{ème} catégorie (comme la sulcotrione).

Mode d'action :

Tout comme l'alachlore, l'acétochlore empêche la croissance de la plante.

5.5. Bentazone

Toxicité

Toxicité aiguë		Irritation (lapin)	
Par voie orale (rat)	Par voie dermale (rat)	Cutanée	Oculaire
DL50=1500 mg.kg ⁻¹	DL50>5000 mg.kg ⁻¹	Légèrement irritant	Moyennement irritant
DJA=0,1 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹			

A court et long terme, cette molécule perturbe la coagulation, les fonctions hépatiques et les fonctions rénales.

Mode d'action :

Inhibition de la photosynthèse par blocage de la protéine d1 du photosystème II. En bloquant cette protéine, la molécule inhibe la synthèse de la chlorophylle et la plante meurt par manque d'énergie. La substance pénètre dans la plante par les feuilles.

Chez les mammifères, la molécule est éliminée par voie rénale.

5.6. S-métolachlore

Toxicité

Toxicité aiguë	Irritation (lapin)
----------------	--------------------

Par voie orale (rat)	Par voie dermale (lapin)	Cutanée	Oculaire
DL50=3000 mg.kg ⁻¹	DL50>2000 mg.kg ⁻¹	Aucune	Aucune

DJA=0,1 mg.kg⁻¹.j⁻¹

Mode d'action :

Le S-métolachlore a une action foliaire et racinaire. Il agit au niveau de la croissance des plantules en la stoppant. La substance pénètre dans la plante par les racines.

6. Discussion

Les sept molécules sont comparées suivant des critères physico-chimiques, environnementaux, écotoxicologiques et toxicologiques. Pour cela, on utilise le temps de demi-vie et le coefficient d'adsorption afin de déterminer la mobilité des molécules. Puis cette dernière est associée aux tests écotoxicologiques et toxicologiques.

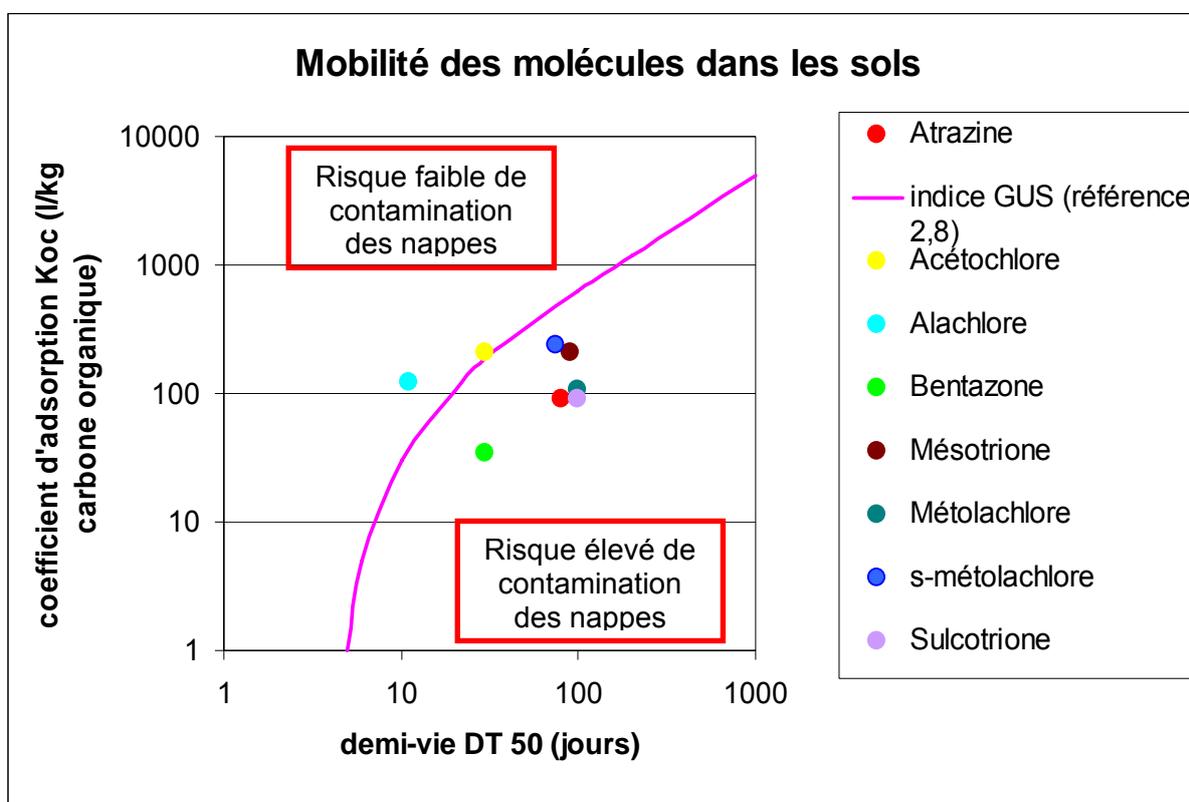


Figure 4 : Représentation de la rétention des substances actives dans le sol.

Ce graphique a été dessiné grâce aux valeurs contenues dans le [tableau 4](#).

L'indice de mobilité de Gustafson GUS (Groundwater Ubiquity Score) est dépendant de deux paramètres :

- le temps de demi-vie DT50
- le coefficient d'adsorption Koc qui permet de déterminer la mobilité d'une molécule c'est-à-dire sa capacité à être retenue par le sol et donc son éventuelle migration vers les eaux souterraines.

Cet indice est calculé selon la formule suivante :

$$\text{GUS} = \log(\text{DT50}) * [4 - \log(\text{Koc})]$$

La valeur référence de l'indice GUS est égale à 2,8 :

- GUS < 1,8 : aucun risque de contamination des nappes

- 1,8 < GUS < 2,8 : risque faible de contamination des nappes phréatiques
- GUS > 2,8 : risque élevé de contamination des nappes phréatiques.

Molécule	GUS
Atrazine	3,89
Acétochlore	2,49
Alachlore	1,99
Bentazone	3,65
Mésotrione	3,28
Métolachlore	3,93
S-métolachlore	3,04
Sulcotrione	4,09

Tableau 5 : Indices GUS de l'atrazine et de ses molécules de substitution.

On peut distinguer 3 groupes de molécules sur ce graphique :

- faible DT50 (<50 jours) et Koc moyen (>100 L/kg) : **alachlore** et **acétochlore**. Ces substances sont donc « peu » dangereuses pour les eaux souterraines car elles sont bien retenues par les sols.
- faible DT50 (<50 jours) et faible Koc (<100 L/kg) : **bentazone**. Cette substance est peu retenue par les sols. Elle présente donc un risque pour les nappes même si elle est assez vite dégradée.
- fort DT50 (>50 jours) et Koc moyen (>100 L/kg) : **atrazine**, **mésotrione**, **métolachlore**, **S-métolachlore**, **sulcotrione**. Même si ces substances ne sont pas très mobiles, elles ont un temps de dégradation très long. Elles persistent donc longtemps dans le sol.

Dans le **tableau 6**, toutes les molécules sont regroupées avec l'atrazine afin de faire une comparaison globale.

Les molécules les moins toxiques pour les mammifères sont la **mésotrione**, la **sulcotrione**, l'**acétochlore**, le **S-métolachlore** et le **bentazone**. L'**atrazine**, l'**alachlore** sont en revanche plus toxiques : ces molécules sont les plus irritantes. Elles sont environ cinq fois plus toxiques que les autres substances actives. En revanche, la DJA de la **sulcotrione** est largement inférieure aux autres : la faible valeur de la DJA indique que la molécule est plus toxique que les autres. Elle est 2000 fois plus toxique que le **bentazone**. On ne peut cependant pas trop tenir compte des DJA car les tests sont faits des animaux différents (chien, lapin ou rat) et sur des durées variant de 1 à 5 ans.

Pour l'environnement aquatique, c'est la **mésotrione**, la **sulcotrione** et le **bentazone** qui sont le moins toxiques. L'**acétochlore** est 50000 fois plus toxique que la **mésotrione** pour les algues et 600 fois plus toxique que la **sulcotrione** pour les poissons.

Si on compare les tests sur les mammifères et sur le milieu aquatique, la substance active la moins toxique serait la **mésotrione**. Pour le **S-métolachlore**, il est difficile de se prononcer car il manque les données écotoxicologiques. L'**acétochlore** est très toxique pour l'environnement aquatique mais moins pour les mammifères. Les molécules les plus toxiques sont l'**atrazine** et l'**alachlore**.

		Alachlore	Acétochlore	Bentazone	Mésotrione	S-métolachlore	Sulcotrione	Atrazine
Mammifères								
Toxicité aiguë DL50 (mg/kg)								
voie orale	<i>rat</i>	930	4000	1500	>5000	3000	>5000	1700-4000
	<i>lapin</i>	1740						750
voie dermale	<i>rat</i>		>2000	>5000	>2000	>2000		
	<i>lapin</i>	13300					>4000	
Irritation								
cutanée	<i>lapin</i>	légèrement irritant	très irritant	légèrement irritant	non irritant	non irritant	non irritant	nc
oculaire		irritant	non irritant	moyennement irritant	non irritant	non irritant	légèrement irritant	nc
DJA (mg/kg/jour)		0,0005	0,02	0,1	0,01	0,1	0,00005	0,0005
Oiseaux								
Toxicité aiguë DL50 (mg/kg p.c.)								
voie orale	<i>Canard colvert</i>	>2000	>2000			nc	>1350	2000
	<i>Colin de virginie</i>			720	>2000	nc		
Toxicité alimentaire CL50 (mg/kg p.c.)								
	<i>Canard colvert</i>		>5200	>5000	>5200	nc	>5620	nc
Organismes aquatiques								
Toxicité aiguë (poissons) DL50 (mg/l)								
	<i>truite arc-en-ciel</i>	1,8	0,36	100	120	nc	227	5-15
Toxicité aiguë (invertébrés) CE50 (mg/l)								
	<i>daphnies</i>	>10	8,4	64	>622	nc	>100	0,2-7
Algues CL50 (mg/l)		0,11	0,0013	62	67	nc	3,5	
Abeilles								
DL50 (µg/abeille)	contact	>32	>100	>200	>100	nc	>200	nc
	orale		>100	>200	>14,4	nc	>50	nc

Tableau 6 : Comparaison des différentes molécules de substitution avec l'atrazine

Quantités épandues d'herbicides sur les champs de maïs :

Bentazone 480 g.L⁻¹ : 2,5 L.ha⁻¹ -> 1,2 kg.ha⁻¹

Alachlore 480 g.L⁻¹ : 5,0 L.ha⁻¹ -> 2,4 kg.ha⁻¹

S-métolachlore 915 g.L⁻¹ : 2,1 L.ha⁻¹ -> 1,92 kg.ha⁻¹

Mésotrione 100 g.L⁻¹ : 1,5 L.ha⁻¹ -> 0,15 kg.ha⁻¹

Atrazine : 1kg.ha⁻¹

Sur ces quatre molécules de substitution à l'atrazine, trois d'entre elles, le **bentazone**, l'**alachlore** et le **S-métolachlore**, sont épandues en plus grandes quantités que l'atrazine avant son interdiction, sur les sols agricoles.

Conclusion

En regardant l'effet des molécules sur le milieu naturel et les effets sur l'homme et les animaux, on peut constater que chaque substance active a ses avantages et ses inconvénients. En effet, la **mésotrione** est peu mobile et peu toxique pour l'homme et l'environnement, cependant son temps de dégradation est long. Le **bentazone** est peu toxique et vite dégradé, mais il est très mobile. L'**acétochlore** est peu mobile mais très toxique pour l'environnement aquatique. Le **S-métolachlore** est peu mobile, et peu toxique. Cette molécule serait la plus adaptée pour l'agriculture mais on ne connaît pas son écotoxicité. Cependant ses métabolites sont aussi voire plus dangereux que la molécule mère. Quant à la **sulcotrione**, elle est peu toxique et peu mobile. L'**alachlore** est très toxique pour les animaux mais il reste peu dangereux pour l'environnement car il est moins mobile que les autres. Cependant on le retrouve dans les eaux souterraines (**Annexe E**). A cela s'ajoute une décision de la commission européenne du 18 décembre 2006 concernant la non-inscription de l'alachlore à l'annexe I de la directive 91/414/CEE du Conseil ce qui entraîne le retrait des autorisations accordées aux produits phytopharmaceutiques contenant cette substance active. Enfin, l'**atrazine** est très toxique et peu mobile.

En arrêtant brutalement l'utilisation de l'**atrazine**, les conseils de l'administration n'ont pas réfléchi à la manière de cultiver du maïs autrement. A partir de ce stade, de nouvelles molécules ont été synthétisées et utilisées avec un impact sur l'environnement plus ou moins important par rapport à l'**atrazine**. Ainsi, la **sulcotrione** et surtout la **mésotrione** sont moins néfastes pour l'environnement et plus appropriées à l'agriculture. En effet, la **mésotrione** est épandue à plus faibles doses que l'atrazine avant son interdiction. En revanche, les autres molécules sont épandues en plus grandes quantités. En étant réaliste, on peut prédire que toute utilisation de molécules de substitution à long terme se traduira par une présence voire une contamination des eaux de surfaces et souterraines.

Quelque soient les substances considérées par la réglementation, les évaluations de risques demeurent approximatives. Elles n'aboutissent pas à une considération globale du risque de pollution par les substances dans un contexte de multi exposition dans un écosystème quelconque. Finalement, l'expertise, découlant des études d'impact des molécules, ne peut exclure totalement une absence de risque mais fait en sorte de le minimiser.

Bilan des herbicides retrouvés dans les eaux (surface et souterraine) entre 2003 et 2004 :

En 2004, 459 substances différentes ont été recherchées dans les eaux de surface. 229, soit 50 % d'entre elles, ont été quantifiées au moins une fois. Dans les eaux

souterraines, sur 417 molécules recherchées, 166, soit 40 % d'entre elles, ont été quantifiées au moins une fois. (Annexe E)

Tout d'abord, on observe en 2003 et 2004, 4 types de substances actives parmi celles qui sont le plus retrouvées dans les eaux superficielles et souterraines, classées par ordre décroissant : atrazine, bentazone, métolachlore et alachlore.

D'autre part, on constate entre 2003 et 2004 pour les eaux superficielles, une baisse de la quantité d'atrazine de 47,7% à 36,2%, ainsi que de bentazone de 11,8% à 9,2%. Pour le métolachlore (8,1% en 2004) et l'alachlore (3,4% en 2004), un manque de donnée pour l'année 2003 ne nous permet pas de voir cette évolution.

Pour les eaux souterraines entre 2003-2004, une baisse est observée pour l'atrazine (38,1% à 26,8%), le bentazone (3,3% à 2,7%) et le métolachlore (3,1% à 1,5%). L'alachlore a été très peu quantifiée dans les nappes (0,2% en 2004).

L'atrazine et le métolachlore font partie des principales molécules déclassantes dans les eaux superficielles (supérieur à 2 µg.L⁻¹). En revanche, seule l'atrazine fait partie des paramètres déclassants (selon SEQ-eau) concernant la qualité des eaux souterraines.

Cependant, de nombreuses molécules ne sont pas encore recherchées par les agences de l'eau. Les procédés d'échantillonnages selon les critères spatiaux ou temporels entraînent de nombreux problèmes d'interprétations des résultats.

Concernant la réglementation de l'eau destinée à la consommation humaine, il existe différents traitements pour éliminer ces molécules en quantité trop élevée dans les zones de captage (aquifères ou eaux de surface).

Eau potable :

Généralement, les concentrations en pesticides des eaux brutes varient au cours de l'année. En effet, d'importantes pluies provoquant le lessivage des sols peuvent momentanément augmenter fortement la concentration de pesticides dans les eaux de surface.

En conséquence, les usines doivent immédiatement s'adapter aux nouvelles qualités de la ressource. Pour cela, elles utilisent des réactifs de crise tels que le CAG (Charbon Actif en Grain) qui permettent de piéger la majorité des pesticides. Par ailleurs, l'utilisation de l'ozone en tête de traitement permet de déstructurer les molécules facilitant par la suite leur élimination.

En revanche, lorsque les dépassements sont réguliers, les solutions permettant le respect de la norme sont l'utilisation de nouveaux captages exempts de pollution, ou l'équipement des stations d'eau potable de filières adaptées au traitement des pesticides. L'utilisation de membranes (ultrafiltration et nano filtration) apparaît comme un moyen performant mais reste tout de même onéreux en termes d'investissement mais aussi en termes de coût d'exploitation.

A l'heure actuelle, tous les traitements sont possibles mais tout dépend de la volonté des exploitants à investir dans des équipements, influençant par la suite le prix de l'eau. Par ailleurs, les exploitants ont leurs propres seuils de traitement leur permettant de respecter la norme de 0,1 µg.L⁻¹.

La santé du consommateur étant à priori préservée, il n'en demeure pas moins que la pollution dans les masses d'eau par les pesticides s'est généralisée. Requis pour 2015, au titre de la Directive Cadre sur l'Eau, le bon état écologique et chimique n'est actuellement atteint que pour un tiers des cours d'eau et la moitié des eaux souterraines.

Un des objectifs du plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides est de réduire de 50% d'ici l'achèvement du plan (2006-2009), les quantités de substances actives vendues les plus dangereuses. Ce plan s'articule autour des 5 axes :

1. Agir sur les produits en améliorant leurs conditions de mise sur le marché

- 2. Agir sur les pratiques et minimiser le recours aux pesticides**
- 3. Renforcer la formation des professionnels, la protection des utilisateurs de pesticides et leur information**
- 4. Renforcer la connaissance et la transparence en matière d'impact sanitaire et environnemental des pesticides**
- 5. Evaluer les progrès accomplis**

Concernant l'axe 2, l'INRA et le CEMAGREF ont conduit une expertise scientifique collective à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Elle souligne que la diminution de l'utilisation des pesticides est nécessaire pour réduire significativement les risques liés à ces produits, tout particulièrement dans les zones à fort enjeu sanitaire et environnemental.

L'objectif actuel est donc de développer des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. En effet, les habitudes d'épandages sont pour le moment trop ancrées dans les mœurs. De ce fait, le recours à des traitements systématiques est encore trop fréquent. Pourtant, dans ce domaine des marges de progrès existent. Cependant, soyons réalistes, pour conserver notre agriculture de type intensive, nous ne pouvons pas nous passer, pour l'instant, des herbicides pour les grandes cultures.

Par ailleurs, souvent laissés de côté, les organismes non agricoles (collectivité locales, gestionnaires d'infrastructures routières, jardiniers amateurs, golfs...) sont malgré eux de grands consommateurs de pesticides. Il est donc nécessaire d'engager des démarches avec eux afin de les inciter à réduire leur utilisation et surtout d'améliorer leurs pratiques.

Annexe A

Tests :

L'annexe II de la directive 91/414/CE du 15 juillet 1991 définit les études et les informations qui doivent être présentées dans le dossier de base soumis par le demandeur.

Identité de la substance

L'information fournie doit permettre d'identifier chaque substance active avec précision, d'en définir la spécification et d'en caractériser la nature. Ces données et informations sont requises pour toutes les substances actives, sauf indication contraire.

1/ nom du demandeur

2/ fabricant de la substance active

3/ nom commun proposé ou accepté par l'ISO (Organisation de normalisation internationale) et synonyme

4/ dénomination chimique (nomenclature de l'UICPA [Union internationale de la chimie pure et appliquée])

5/ numéro(s) de code de développement du fabricant

6/ numéro CAS, numéro CEE et numéro CIMAC

- Le numéro CAS est le numéro d'enregistrement auprès de la banque de données de Chemical Abstracts Service (CAS)
- Le numéro CEE est un numéro attribué par la Commission Européenne.
- Numéro CIMAC

7/ Formule moléculaire et formule développée, masse moléculaire

8/ méthode de fabrication de la substance active (procédé de synthèse)

9/ spéciation de la pureté de la substance active exprimée en grammes par kilogramme

Indiquer la teneur minimale, en g/kg de substance active pure (à l'exclusion des isomères inactifs), de la matière manufacturée entrant dans la fabrication des produits préparés.

10/ Identité des isomères, impuretés et additifs (par exemple des stabilisants), avec la formule développée et la teneur exprimée en grammes par kilogramme

Indiquer la teneur maximale en g/kg des isomères inactifs ainsi que le ratio des teneurs en isomères/diastéréo-isomères, le cas échéant. En outre, indiquer la teneur maximale en g/kg de chaque composant autre que les additifs, y compris les sous-produits et les impuretés. Pour les additifs, indiquer la teneur en g/kg.

Propriétés physiques et chimiques de la substance active

1/ Point de fusion et point d'ébullition

2/ Densité relative

3/ Pression de vapeur (en Pa), volatilité (par exemple constante de la loi de Henry)

4/ Aspect (état physique, couleur et odeur, s'ils sont connus)

4-1/ Donner une description de la couleur, le cas échéant, et de l'état physique de la substance active manufacturée et de la substance active purifiée.

4-2/ Donner une description de toute odeur associée à la substance active manufacturée et à la substance active purifiée, constatée lors de la manipulation des matières en laboratoire ou dans les installations de production.

5/ Spectres ((ultraviolet/visible - UV/VIS -, infrarouge - IR -, résonance magnétique nucléaire - RMN -, spectrométrie de masse - SM), extinction moléculaire aux longueurs d'onde adéquates.

6/ Solubilité dans l'eau, notamment influence du pH (4 à 10) sur la solubilité

7/ Solubilité dans les solvants organiques

Déterminer et indiquer la solubilité des substances actives fabriquées dans les solvants organiques suivants, à une température de 15 à 25°C :

- hydrocarbure aliphatique : de préférence n-heptane,
- hydrocarbure aromatique : de préférence xylène,
- hydrocarbure halogéné : de préférence 1,2-dichloro-éthane,
- alcool : de préférence méthanol ou alcool isopropylique,
- cétone : de préférence acétone,
- ester : de préférence acétate d'éthyle.

8/ Coefficient de partage n-octanol/eau

Déterminer le coefficient de partage n-octanol/eau de la substance active purifiée (P_{OE}) en analysant l'influence du pH (4 à 10).

9/ Stabilité dans l'eau

On cherche à déterminer le taux d'hydrolyse, la dégradation photochimique, la proportion et l'identité du (des) produit(s) de dégradation, une constante de dissociation, notamment en prenant en compte l'influence du pH (4 à 9).

10/ Stabilité dans l'air, dégradation photochimique, identité du (des) produit(s) de dégradation

Présenter une estimation de la dégradation photochimique oxydative (autotransformation indirecte) de la substance active.

11/ Inflammabilité, y compris auto-inflammabilité

12/ Point d'éclair

13/ Propriétés explosives

14/ Tension superficielle

15/ Propriétés comburantes

Toxicité :

1/ études de l'absorption, de la distribution, de l'excrétion et du métabolisme chez les mammifères. Espèce : le rat

1-1 absorption orale

On cherche à estimer un taux d'absorption oral pour chaque substance, dans un intervalle de temps donné ainsi que la distribution et le potentiel de bioaccumulation.

1-2 métabolisme animal

1-3 élimination

On cherche à évaluer le taux d'élimination en fonction d'un intervalle de temps donné. La part relative prise par l'excrétion urinaire et fécale est précisée.

2/ absorption dermale

On réalise des études expérimentales *in vitro* à partir de peau humaine ou de rat ou bien *in vivo* chez le rat. Ces études permettent une détermination quantitative de l'absorption.

Un pourcentage d'absorption dermale est calculé, il s'agit du rapport de la dose absorbée sur la dose appliquée.

3/ toxicité aiguë

3-1/ toxicité aiguë par voie orale

Pour une espèce donnée (ici le rat), la DL50 est la Dose létale (mortelle) en substance active, pour 50% d'un lot d'animaux de laboratoire soumis au test après une administration unique de la substance active.

3-2/ toxicité aiguë par voie dermale

On cherche à évaluer une DT 50.

3-3/ toxicité aiguë par voie inhalation

Le rat est l'espèce recommandée.

Pour une espèce donnée, la CL50 est la Concentration létale (mortelle) en substance active, pour 50% d'un lot d'animaux de laboratoire soumis au test après 4 heures d'exposition dans l'air inhalé.

La CL50 est exprimée en milligrammes de substance active par litre d'air.

4-1, 4-2 irritation cutanée ou oculaire

L'animal recommandé est le lapin.

Les effets irritants de la substance se manifestent au niveau cutané par un érythème et ou un œdème et au niveau oculaire par une inflammation de la conjonctive, opacité cornéenne, etc....

Le pouvoir irritant de la substance est documenté par une appréciation choisie sur une échelle (de non irritant à très irritant).

5/ sensibilisation cutanée

L'animal recommandé est le cobaye.

C'est une réaction d'hypersensibilité retardée cutanée qui nécessite une première exposition et qui ne se développera que lors d'une exposition ultérieure à la substance.

Le résultat se traduit par une appréciation choisie sur une échelle (de non sensibilisant à sensibilisant).

6/ Toxicité à court terme

6-1 étude de 28 jours par voie orale

6-2 études de 90 jours par voir orale

Espèce : chien ou rat

6-3 autres voies

6-3-1 étude de toxicité dermique de 28 jours

6-3-2 étude de toxicité dermique de 90 jours

6-3-3 étude de toxicité de 28 jours par inhalation

6-3-4 étude de toxicité de 90 jours par inhalation

7/ génotoxicité

Le pouvoir mutagène des substances actives testées est évalué au moyen d'une batterie de tests *in vitro* utilisant des bactéries, des cellules de mammifères en culture et des tests *in vivo* (sur animaux).

Les propriétés explorées sont les mutations géniques, les modifications de structure et du nombre des chromosomes, les phénomènes de réparation de l'ADN et de recombinaison.

Les tests *in vitro* peuvent être réalisés avec ou sans activation métabolique : l'addition d'une fraction d'enzymes hépatiques simule le métabolisme de la substance dans le corps des mammifères.

8/ toxicité à long terme et cancérogenèse

Les animaux recommandés sont le rat, la souris et le chien.

Pour une espèce donnée, la DSE (Dose sans effet) observée pour un lot d'animaux de laboratoire soumis à l'essai pendant une période déterminée (de 1 mois à 2 ans), est la quantité maximale de substance dont l'absorption quotidienne n'entraîne aucun effet sur les animaux testés.

Les études de cancérogenèse sont souvent associées aux études à long terme.

Leur objectif est différent car il s'agit d'identifier un éventuel effet cancérogène de la substance et de décrire le type de tumeurs induites.

9/ toxicité sur la reproduction

9-1 tératogenèse

Les animaux recommandés sont le rat et le lapin. Dans le cas des études de tératogenèse, les Doses sans effet (DSE) concernent la femelle gestante et le développement (embryon, fœtus).

9-2 études multi génération

L'animal recommandé est le rat. Dans le cas des études multigénération (M2, M3), les DSE concernent la génération des parents, la descendance et les paramètres de la reproduction.

10/ neurotoxicité

Les animaux recommandés sont le rat et le poulet.

Pour une espèce donnée, la DSE pour un lot d'animaux de laboratoire soumis à l'essai pendant une période déterminée, est la quantité maximale de substance dont l'absorption quotidienne ou unique n'entraîne aucun effet sur les animaux testés.

L'objectif des études de neurotoxicité est d'identifier les effets sur le comportement et/ou sur la toxicité retardée après exposition à une substance.

11/ Dose journalière acceptable : DJA

La dose journalière acceptable désigne la quantité de substance qui peut être quotidiennement ingérée par le consommateur, pendant toute la vie, sans effet pour sa santé.

Elle est calculée à partir d'une DSE et d'un Facteur de sécurité (FS). La DSE choisie pour le calcul est issue de l'étude la plus appropriée sur une espèce animale sensible et représentative.

Le facteur de sécurité tient compte de la variabilité intra et inter-espèce et de la nature des effets de la substance.

Les DJA sont fixées soit par la Commission de l'Union Européenne, soit par des instances internationales (FAO/OMS).

12/ dose de référence aiguë : ARfD

La dose de référence aiguë désigne la quantité maximum de substance active qui peut être ingérée par le consommateur pendant une courte période (c'est-à-dire au cours d'un repas ou d'un jour, dans la nourriture ou l'eau de boisson), sans effet dangereux pour sa santé.

Elle est calculée à partir d'une DSE et d'un FS. La DSE choisie pour le calcul est issue de l'étude la plus appropriée sur une espèce animale sensible et représentative. Le facteur de sécurité tient compte de la variabilité intra et inter-espèce et de la nature des effets de la substance.

L' ARfD est fixée par la Commission de l'Union Européenne.

13/ niveau d'exposition acceptable pour l'opérateur (AOEL : Acceptable Operator Exposure Level.)

Il désigne la quantité maximum de substance active à laquelle l'opérateur peut être exposé quotidiennement, sans effet dangereux pour sa santé. Il caractérise un indicateur de danger pour l'opérateur et le travailleur agricole.

Il est calculé à partir d'une DSE et d'un FS.

L' AOEL est fixé par la Commission de l'Union Européenne.

Résidus dans ou sur les produits traités, les denrées alimentaires et les aliments pour animaux

1/métabolisme, distribution et expression du résidu dans les végétaux

2/ métabolisme, distribution et expression des résidus dans les animaux d'élevage

Les objectifs de ces études sont les suivants :

- identifier les principaux composants du résidu final total dans les produits animaux comestibles;
- chiffrer le taux de dégradation et d'excrétion du résidu total dans certains produits animaux (lait ou oeufs) et excréments animales;
- indiquer la distribution des résidus entre les produits animaux comestibles pertinents;
- quantifier les principaux composants du résidu et démontrer l'efficacité des méthodes d'extraction de ces composants.

3/ essais relatifs aux résidus

Les objectifs de ces études sont les suivants :

- quantifier les concentrations de résidus maximales probables contenues dans les cultures traitées, au moment de la récolte ou de la sortie du stock conformément aux bonnes pratiques agricoles proposées ;
- déterminer, le cas échéant, le rythme de diminution des dépôts du produit.

4/ études sur l'alimentation des animaux

L'objectif de ces études est de déterminer le taux de résidus contenus dans les produits animaux ou dans les aliments pour animaux (cultures fourragères).

5/ effets de la transformation industrielle et/ou des préparations domestiques

Nécessité d'effectuer des études relatives à la transformation s'il existe une possibilité que des produits de dégradation toxicologiquement significatifs soient découverts après la transformation des végétaux ou du produit végétal.

6/ résidus dans les cultures suivantes

L'objectif des présentes études est de permettre une évaluation des résidus pouvant être contenus dans les cultures suivantes.

7/ limites maximales de résidus proposées et définition d'un résidu

8/ Propositions relatives aux délais d'attente avant récolte pour les utilisations envisagées, ou aux délais de rétention ou de stockage en cas d'utilisations postérieures à la récolte

9/ estimation de l'exposition potentielle ou réelle imputable au régime alimentaire ou à d'autres causes

Il convient d'établir de manière réaliste la prévision de l'ingestion par le régime alimentaire ou fourrager, ce qui peut se faire de manière progressive et aboutir à une prévision de plus en plus réaliste de l'ingestion. Prendre éventuellement en considération d'autres sources d'exposition telles que les résidus de la même substance active résultant de l'usage de médicaments, notamment vétérinaires.

Comportement dans l'environnement

1/ comportement dans le sol

L'objectif est d'identifier les processus de dégradation dans le sol, les composés formés, de caractériser la persistance et la mobilité de la substance active et des principaux métabolites. Les études au laboratoire (en conditions aérobies, non aérobies ou à la lumière) sont complétées éventuellement par des études au champ.

1-1 voie de dégradation dans le sol

Le but est d'identifier la ou les voies de dégradation, c'est-à-dire :

- le pourcentage de minéralisation et le pourcentage de résidus non extractibles
- les métabolites, et pour chacun :
 - o son intitulé,
 - o le pourcentage maximum atteint,
 - o la réaction de formation.

La durée normale de l'étude est de 120 jours, sauf quand au bout d'une période plus courte, les taux de résidus non extractibles et de CO₂ peuvent être extrapolés avec certitude à une période de 100 jours.

1-1-1 dégradation aérobie

1-1-2 dégradation anaérobie

1-2 Vitesse de dégradation dans le sol

1-2-1 Vitesse de dégradation en laboratoire,

Les études de dégradation dans le sol devront fournir les meilleures estimations possibles du temps nécessaire à la dégradation de 50 % et de 90 % (DT_{50lab} et DT_{90lab}) de la substance active, ainsi que des métabolites ayant une incidence toxicologique et environnementale dans des conditions de laboratoire.

La durée normale de l'étude est de 120 jours sauf si plus de 90 % de la substance active sont dégradés avant l'expiration de cette période.

1-2-1-1 condition aérobie

1-2-1-1 condition anaérobie

1-2-2 Vitesse de dégradation au champ

Les études de dissipation dans le sol devront fournir des estimations du temps nécessaire à la dissipation de 50 % et de 90 % (DT_{50f} et DT_{90f}) de la substance active dans des conditions de terrain. Les caractéristiques du sol et la température sont alors précisées.

1-2-3 Vitesse de dégradation de photodégradation en laboratoire

La nature de la source de lumière doit être précisée.

On cherche à évaluer des DT₅₀ et DT₉₀ à la lumière mais aussi à l'obscurité dans les mêmes conditions expérimentales.

1-3 mobilité dans le sol : adsorption et désorption

Les données et informations fournies devront être suffisantes pour déterminer le coefficient d'adsorption de la substance active et des produits de dégradation ayant une incidence toxicologique et environnementale.

Nous cherchons à déterminer les coefficients d'adsorption, obtenus en laboratoire caractérisant la mobilité de la substance active : Kd, Koc.

1-4 autres études de mobilité dans le sol

1-4-1 en laboratoire

L'objectif est d'évaluer la mobilité de la substance, en particulier lorsque des mesures d'adsorption fiables ne sont pas disponibles.

1-4-1-1 études sur colonnes de sol

L'essai doit fournir des données suffisantes pour évaluer la mobilité et le potentiel de lixiviation de la substance active et, si possible, des métabolites ayant une incidence toxicologique et environnementale.

Après application de la substance à la surface d'une colonne de sol, une quantité d'eau percole à travers la colonne, et le percolât et les résidus dans la colonne de sol sont analysés.

1-4-1-2 études de résidus vieillis sur colonne

Les essais doivent fournir des données suffisantes pour estimer la mobilité et le potentiel de lixiviation des métabolites ayant une incidence environnementale.

Après incubation de la substance, la substance "vieillie" est appliquée à la surface d'une colonne de sol qui reçoit une quantité d'eau. Le percolât et les résidus dans la colonne de sol sont analysés.

Cependant, la (les) période(s) de vieillissement doit (doivent) être déterminée(s) sur la base d'un examen du schéma de dégradation de la substance active et des métabolites afin de garantir la présence d'un spectre pertinent de métabolites au moment de la lixiviation.

1-4-2 au champ

L'objectif est d'obtenir des informations sur la mobilité dans le sol et le potentiel de lixiviation vers les eaux souterraines et la dispersion potentielle dans le sol.

1-4-2-1 études en lysimètres

Habituellement, la substance est appliquée pendant un an ou deux ans. Les lixiviats recueillis sous le lysimètre sont analysés pendant deux ou trois ans, et les résidus dans le profil de sol sont analysés à la fin de l'étude.

1-4-2-2 étude de lixiviation au champ

La parcelle traitée est équipée de dispositifs permettant de prélever des échantillons d'eau en profondeur dans le sol, en vue de les analyser.

2/ comportement dans l'eau

L'objectif est d'identifier les processus de dégradation, les composés formés et enfin leur distribution entre l'eau et les sédiments. Par ailleurs, les données servent à établir ou estimer :

- la persistance dans les systèmes aquatiques (sédiment de fond et eau, y compris les matières en suspension)
- le niveau de danger de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines.

2-1 produit d'hydrolyse

On cherche à déterminer les principaux produits formés dans l'eau à différents pH (en conditions stériles).

2-2 vitesse d'hydrolyse

Elle est évaluée par le temps de dégradation de 50 % de la substance active (**DT50**) dans l'eau, exprimé en jours ou en heures à un pH donné et déterminé par un test de laboratoire.

2-3 produits de photolyse dans l'eau

Etudes destinées à déterminer les principaux produits formés dans l'eau à pH donné sous l'influence de la lumière (en conditions stériles).

2-4 vitesse de photolyse dans l'eau

Elle est évaluée par le temps de dégradation de 50 % de la substance active (**DT50**) dans l'eau, exprimé en jours ou en heures à un pH donné et déterminé par un test de laboratoire.

2-5 biodégradation facile

La biodégradabilité est appréciée par une mention « facilement biodégradable » ou « non facilement biodégradable ».

2-6 voie de dégradation dans le système eau/sédiment

On cherche à déterminer :

- le pourcentage maximum de substance active atteint dans la phase sédiment (après application de la substance à la surface de l'eau),
- le pourcentage de minéralisation
- le pourcentage de résidus non extractibles,
- les métabolites, et pour chacun :
 - o son intitulé,
 - o le pourcentage maximum du métabolite dans l'eau et dans le sédiment,
 - o la réaction de formation.

2-7 vitesse de dégradation dans le système eau/sédiment

2-7-1 vitesse de dissipation-condition aérobie-obscurité

2-7-2 vitesse de dissipation-condition aérobie-lumière

2-7-3 vitesse de dissipation-condition anaérobie-obscurité

2-7-4 vitesse de dissipation condition anaérobie-lumière

Chaque phase du système eau-sédiment est décrite (étude au laboratoire). Les caractéristiques du sédiment, le pH de l'eau, la température sont précisés.

La **DT50** est la durée nécessaire à la dissipation de 50% de la quantité initiale de substance active dans la phase eau, dans la phase sédiment et dans l'ensemble du système. (La substance apportée dans l'eau se distribue entre les phases eau et sédiment, et se dégrade dans chacune des phases).

3/ comportement dans l'air

3-1 pression de vapeur

3-2 constante de Henry

3-3 vitesse de dégradation dans l'air

On cherche à déterminer la DT50.

Ecotoxicité

1/ effets sur les oiseaux et autres vertébrées terrestres

Oiseaux : *Colinus virginianus* (Colin de Virginie) et *Anas platyrhynchos* (Canard Colvert).

1-1 toxicité orale aiguë

Par un gavage, on cherche à savoir la DL 50.

1-2 toxicité alimentaire à court terme (8 jours)

L'essai devrait permettre d'établir la toxicité alimentaire à court terme (la CL 50, la plus faible concentration létale, si possible la Concentration sans effet observé - CSEO -, les temps de réponse et de récupération) et faire état des observations pathologiques significatives à l'autopsie.

1-3 toxicité subchronique et reproduction (20 semaines environ)

On cherche la CSEO.

1-4 autres études

1-4-1 essai d'appétence (pour les préparations en granulés et les semences traitées)

Il permet de quantifier l'évitement.

1-4-2 essai en cage

1-4-3 essai au champ

2/ effets sur les organismes aquatiques

2-1 poisson

Espèces : *Onchorhynchus mykiss* (Truite arc-en-ciel) et *Lepomis macrochirus* (crapet arlequin).

2-1-1 toxicité aiguë (exposition de 96h)

L'essai devrait permettre de déterminer la CL 50 en milieu statique (substance stable) ou en milieu renouvelé.

2-1-2 toxicité chronique

On cherche à déterminer la CSEO.

2-1-2-1 essai de toxicité chronique pour les poissons juvéniles (exposition de 28 jours)

L'essai devrait permettre d'établir les effets sur la croissance, le niveau seuil des effets létaux ou des effets observés, la CSEO et les détails des effets observés.

2-1-2-2 essai sur le cycle biologique des poissons

L'essai permettra d'établir les effets sur la reproduction des générations parentales et sur la viabilité des générations de descendants.

2-1-3 bioaccumulation

L'essai devrait permettre d'établir les facteurs de la bioconcentration à l'équilibre (FBC), les constantes des taux d'accumulation et des taux d'élimination calculés pour chaque substance d'essai, ainsi que les limites de confiances correspondantes.

L'essai de bioaccumulation et de métabolisme est nécessaire dès qu'un potentiel de bioaccumulation est identifié ($\log P_{oe} > 3$).

2-2 invertébrés aquatiques vivant dans la colonne d'eau ou le sédiment

Espèce : *Daphnia Magna*.

2-2-1 toxicité aiguë

L'essai devrait permettre d'établir la toxicité aiguë à 24 et 48 heures de la substance active, exprimée sous forme de Concentration effective (CE 50) provoquant l'immobilisation et, si possible, la concentration la plus élevée ne provoquant pas d'immobilisation.

2-2-2 toxicité chronique (21 jours)

L'essai sur *Daphnia* devrait permettre d'établir, si possible, les valeurs de la CE 50 concernant des effets tels que l'immobilisation et la reproduction ainsi que la concentration la

plus élevée n'ayant aucun effet sur la mortalité ou la reproduction (CSEO) et les détails des effets observés.

Idem pour espèce : *Chironomus*.

2-3 algues ou plantes aquatiques

2-3-1 effets sur la croissance (toxicité chronique)

Après 72 heures, en milieu statique, on cherche à déterminer un Cb E50 et/ou un Cr E50.

2-3-2 autres études (éventuellement)

Essai sur la croissance de plantes pendant 7-14 jours en milieu statique. On cherche la CE 50, sur la croissance et la biomasse.

2-4 cosmes

On cherche à évaluer les effets sur les micro et mésocosmes.

Le terme de microcosme s'applique aux études à petite échelle, généralement en laboratoire tandis que le terme de mésocosme s'applique généralement aux études à plus grande échelle en conditions externes. Par ailleurs, les mésocosmes sont destinées à examiner les effets des produits sur les communautés aquatiques dans des conditions se rapprochant des conditions d'exposition en champ. Les données des cosmes doivent être utilisées pour déterminer les points finaux utilisables pour l'évaluation du risque :

- NOEC communauté
- NOEC population
- Temps de récupération

Ces 3 valeurs seront utilisées pour déterminer la CSEENO (Concentration sans effet écologique néfaste observé).

3/ effets sur les abeilles

Espèces : *Apis mellifera*

La détermination de l'impact potentiel sur les abeilles vise à évaluer les risques encourus par les abeilles, c'est à dire évaluer si le (les) niveau(x) d'exposition attendu(s) est (sont) susceptible(s) ou non de se traduire par un impact sur les populations d'abeilles exposées.

3-1 toxicité aiguë

3-1-1 exposition par voie orale

Après 48 h, on détermine la mortalité des adultes via la DL 50.

3-1-2 exposition par contact

Après 48 h, on détermine la mortalité des adultes via la DL 50.

3-2 autres études

3-2-1 essai de toxicité prolongée

3-2-2 essai de toxicité pour les larves

3-2-3 essai en cage

3-2-4 essai en tunnel

3-2-5 essai au champ

4/ effets sur les arthropodes terrestres autres que les abeilles

Il est obligatoire de déterminer les effets sur les arthropodes terrestres non cibles (par exemple, les prédateurs ou les parasitoïdes des organismes nuisibles). Les renseignements obtenus pour ces espèces peuvent également être utilisés pour indiquer la toxicité potentielle à l'égard d'autres espèces non cibles vivant dans le même environnement.

Espèces *Aphidius rhopalosiphi* et *Typhlodromus pyri*.

Les effets sont déterminés sur deux espèces standards : un acarien prédateur et un hyménoptère parasitoïde. Eventuellement, les effets sont étudiés sur des espèces prédatrices vivant dans le sol ou sur le feuillage.

4-1 effets dans les conditions de laboratoire : exposition sur substrat inerte ou sur substrat naturel

4-2 autres études : études mixtes terrain/laboratoire, études de terrain

5/ effets sur les vers de terre et autres macro-organismes non cibles du sol

Espèces : *Eisenia fetida*, *Lumbricus terrestris*.

5-1 toxicité aiguë (exposition de 14 jours)

L'essai devrait permettre d'établir la valeur de la CL 50 de la substance active à l'égard des vers de terre.

5-2 effets sur la reproduction (exposition de 56 jours)

L'essai devrait permettre d'établir la CSEO et les effets sur la croissance, la reproduction et le comportement.

5-3 autres études

6/ effets sur le microorganismes non cible du sol

L'essai devrait permettre d'obtenir des données suffisantes pour évaluer l'impact de la substance active sur l'activité microbienne du sol dans les conditions de laboratoire, traduite par la transformation de l'azote (ammonification et nitrification) et la minéralisation du carbone organique à une concentration (mg.kg^{-1} de sol) ou dose (g.ha^{-1}) donnée.

7/ effets sur d'autres organismes non cibles (flore et faune)

Il est obligatoire de fournir des renseignements sur l'impact éventuel sur d'autres espèces non cibles (flore et faune) et de les accompagner d'un avis critique sur la pertinence d'un impact potentiel sur les espèces non cibles.

8/ effets sur les méthodes biologiques de traitement des eaux usées

Ce test renseigne sur les effets des préparations lorsque le produit est susceptible de contaminer les réseaux de collecte des eaux usées.

On effectue un essai d'inhibition qui aboutit à déterminer une CE50. Cette dernière est la concentration d'effet 50% sur une boue activée (inhibition de la respiration). Elle est généralement exprimée en mg.L^{-1} .

REGLEMENTATION

Classement toxicologique

Le classement toxicologique et l'étiquetage sont attribués par la Commission de l'Union Européenne (CEE), selon les critères de la [Directive européenne 67/548/CEE du 27 juin 1967](#) concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses et de ses adaptations.

Limites maximales de résidus (LMR)

Les LMR permettent de contrôler les bonnes pratiques agricoles, en particulier le respect de la dose autorisée et du délai avant récolte. Les LMR doivent nécessairement être acceptables du point de vue du risque pour le consommateur.

Annexe B

On distingue 10 symboles de risques toxicologiques :

Xn =  = nocif	Xi =  = irritant
F++ =  = extrêmement inflammable	F+ =  = hautement inflammable
F =  = inflammable	C =  = corrosif
T =  = toxique	T+ =  = très toxique
E =  = explosif	O =  = comburant

Un symbole de risque écotoxicologique : N =  = dangereux pour l'environnement

Annexe C

Nature des risques particuliers attribués aux substances et préparations dangereuses : phrases R

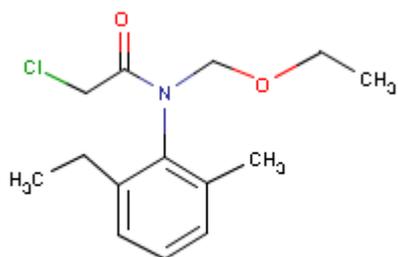
R16	Peut exploser en mélange avec des substances comburantes.
R20	Nocif par inhalation
R22	Nocif en cas d'ingestion
R36	Irritant pour les yeux
R37	Irritant pour les voies respiratoires
R38	Irritant pour la peau
R40	Effet cancérigène suspecté - preuves insuffisantes.
R43	Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau
R48	Nocif: risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée
R50	Très toxique pour les organismes aquatiques
R52	Nocif pour les organismes aquatiques.
R53	Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
R60	Peut altérer la fertilité.

Conseils de prudence concernant les substances et préparation dangereuses : phrases S

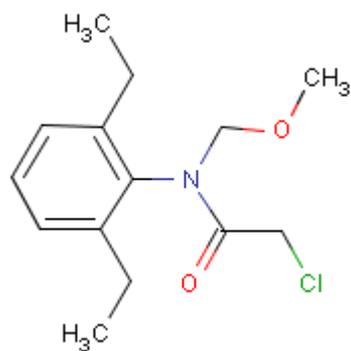
S2	Conserver hors de la portée des enfants.
S7	Conserver le récipient bien fermé.
S8	Conserver le récipient à l'abri de l'humidité.
S14	Conserver à l'écart des ... (<i>matières incompatibles à indiquer par le fabricant</i>). (acier pour l'acétochlore)
S15	Conserver à l'écart de la chaleur
S16	Conserver à l'écart de toute flamme ou source d'étincelles - Ne pas fumer.
S24	Éviter le contact avec la peau.
S25	Éviter le contact avec les yeux
S30	Ne jamais verser de l'eau dans ce produit.
S36	Porter un vêtement de protection approprié.
S37	Porter des gants appropriés.
S39	Porter un appareil de protection des yeux/du visage.
S46	En cas d'ingestion, consulter immédiatement un médecin et lui montrer l'emballage ou l'étiquette.
S60	Éliminer le produit et son récipient comme un déchet dangereux.
S61	Éviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité

Annexe D

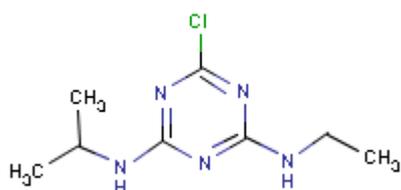
Acétochlore



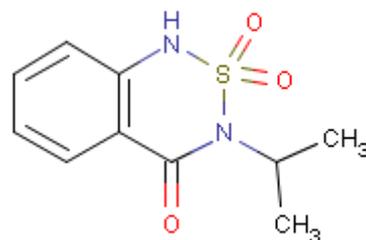
Alachlore



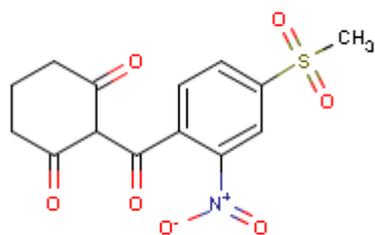
Atrazine



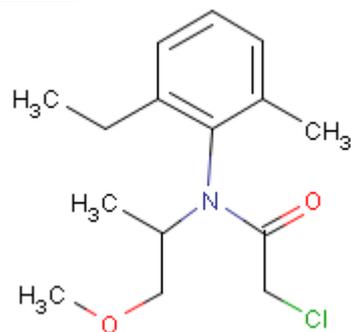
Bentazone



Mésotrione

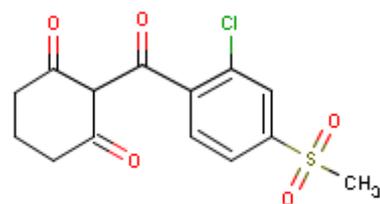


Métolachlore



S-métolachlore

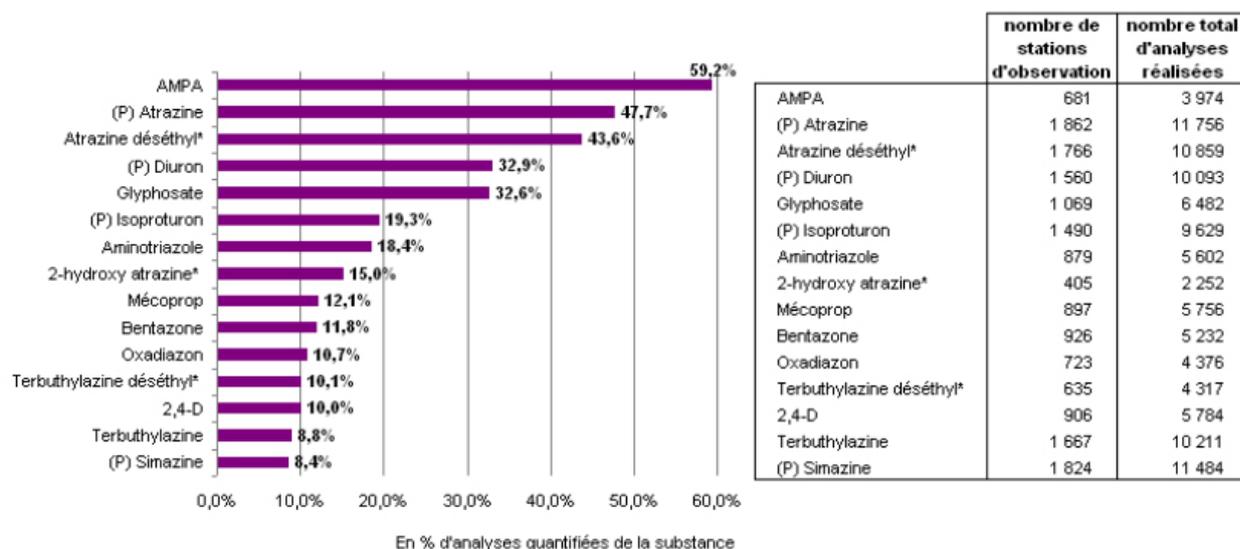
Sulcotrione



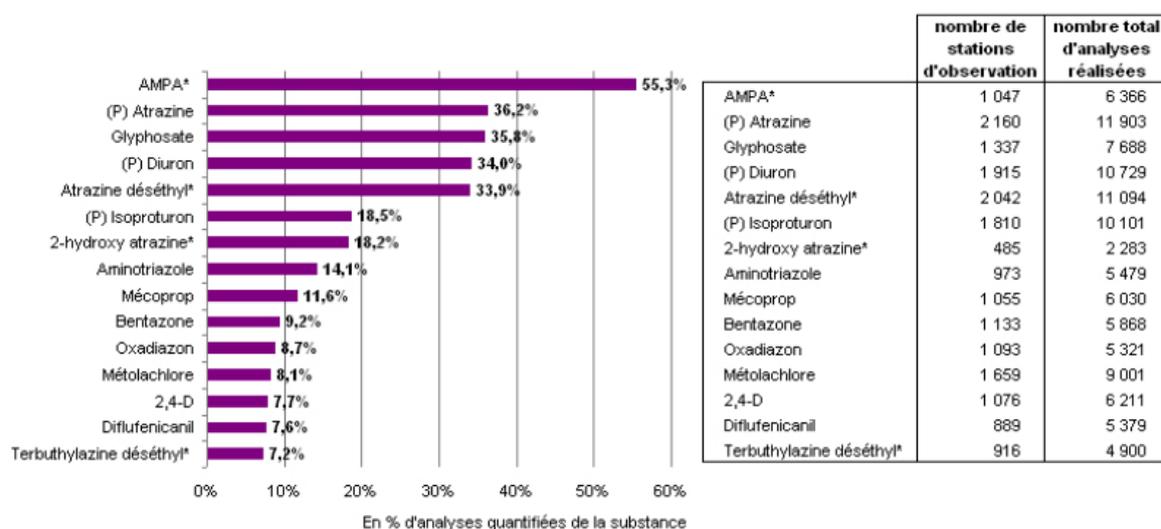
Annexe E

Graphes 3 – Les principales molécules quantifiées dans les eaux superficielles, tous réseaux confondus

3.1 – En 2003



3.2 – En 2004

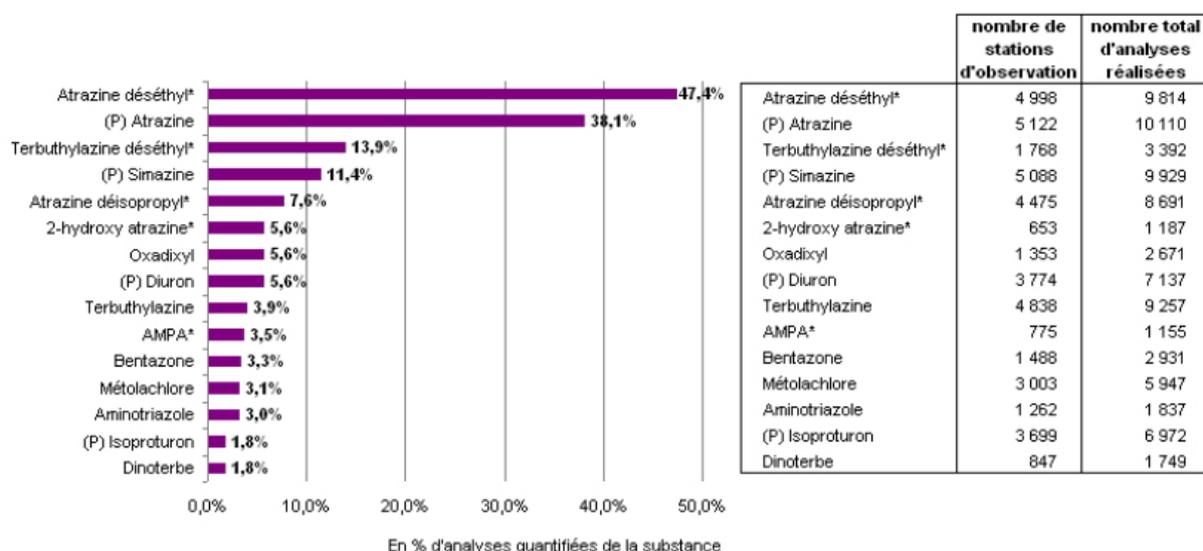


Les substances prioritaires de la directive-cadre sur l'eau sont repérées par la lettre P. Les métabolites (substances résultant de la dégradation des molécules mères dans le sol et l'eau) sont repérés par un astérisque.

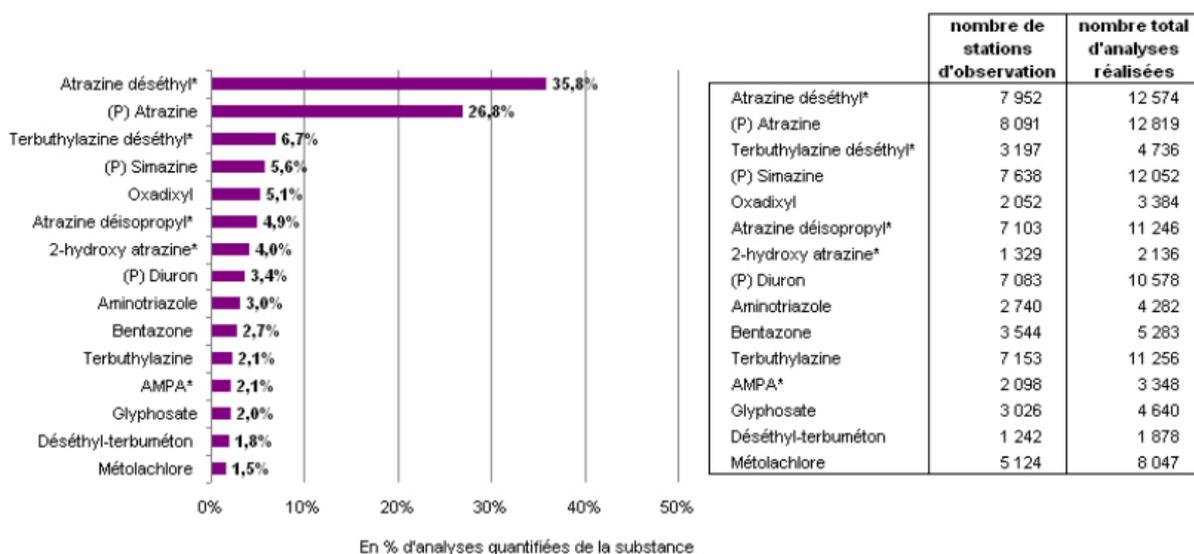
Source : agences de l'Eau, conseils généraux, Diren, DRAF-SRPV, DDASS, producteurs d'eau – traitements Ifen.

Graphes 4 – Les principales molécules quantifiées dans les eaux souterraines, tous réseaux confondus

4.1 – En 2003



4.2 – En 2004



Les substances prioritaires de la directive-cadre sur l'eau sont repérées par la lettre P. Les métabolites (substances résultant de la dégradation des molécules mères dans le sol et l'eau) sont repérés par un astérisque.

Source : agences de l'Eau, conseils généraux, Diren, DRAF-SRPV, DDASS, producteurs d'eau – traitements Ifen.

Tableau 2 – Les analyses déclassantes des eaux superficielles en 2003 et 2004

Paramètre déclassant	Nombre d'analyses déclassantes du pesticide en 2003 et 2004	Concentrations en µg/l		
		Minimum	Médiane	Maximum
AMPA	250	2,1	3,0	48,1
Diuron	95	2,1	3,9	43,0
Glyphosate	76	2,0	3,6	165
Isoproturon	47	2,1	3,9	32,0
Aminotriazole	39	2,3	7,9	190,0
Norflurazon	20	2,3	3,4	28,7
Atrazine	17	2,0	2,9	13,8
Chlortoluron	17	2,3	3,7	23,0
Terbuthylazine	15	2,0	4,0	12,1
Métolachlore	12	2,1	4,3	12,8
Diméthomorphe	11	2,2	9,1	406,0

Source : agences de l'Eau, conseils généraux, Diren, DRAF-SRPV – traitements Ifen : SEQ-eau qualité globale eaux superficielles.

Tableau 3 – Les analyses déclassantes des eaux souterraines en 2003 et 2004

Paramètre déclassant	nombre d'analyses déclassantes du pesticide en 2003 et 2004	concentrations en µg/l		
		minimum	médiane	maximum
Glyphosate	4	2,4	3,9	6,8
Atrazine	3	3,2	5,4	7,2
Chlortoluron	3	2,1	2,9	7,2

Source : agences de l'Eau, conseils généraux, Diren, DRAF-SRPV – traitements Ifen : SEQ-eau usage eau potable.

Tableau 4 – La contamination par les substances prioritaires de la directive-cadre sur l'eau en 2004

Données 2004	Nombre de points de recherche		Taux de recherche*		Nombre d'analyses		Taux de quantification **	
	Eaux de surface	Nappes	Eaux de surface	Nappes	Eaux de surface	Nappes	Eaux de surface	Nappes
Alachlore	1 703	5 037	75,7 %	60,9 %	9 201	7 431	3,4 %	0,2 %
Atrazine	2 160	8 091	96,0 %	97,8 %	11 903	12 819	36,2 %	26,8 %

Glossaire

Aérobic : un milieu aérobie est un milieu saturé en oxygène.

Adventice : plante colonisant les cultures = mauvaises herbes.

Anaérobie : un milieu anaérobie est un milieu sans oxygène.

Bioaccumulation (ou bioconcentration) : accumulation progressive d'une substance spécifique dans le corps d'un organisme vivant à partir du milieu ambiant. C'est l'un des facteurs à prendre en considération si l'on veut estimer le risque d'impact sur l'environnement de substances données.

Biodégradable : toute substance (solide ou liquide) qui, sous l'action de micro-organismes vivants (bactéries, enzymes...) est transformée en éléments naturels de base : CO₂, eau et sels minéraux.

CE 50 : Concentration d'effet pour 50% des organismes exposés, en général daphnies et autres invertébrés aquatiques, algues et plantes aquatiques. Pour les invertébrés, l'effet est l'immobilisation. Pour les algues et plantes, sont mesurés les effets sur la biomasse (CbE 50), le taux de croissance (CrE 50).

CL 50 : Concentration létale pour 50% des organismes exposés par voie alimentaire à court terme en mg/kg d'aliment

Constante de Henry H: caractérise l'aptitude d'une substance active à se volatiliser (passage de l'état gazeux à l'état solide) à partir d'un milieu aqueux ou même du sol. Plus la valeur de H est élevée, plus le produit aura tendance à se volatiliser (si $H < 10^{-5}$, le produit aura peu de risque de se volatiliser). Cette constante s'exprime en Pa/m³/mol.

CSEENO (Concentration sans effet écologique néfaste observé): concentration à laquelle on n'observe pas d'effets néfastes durables. Les effets non durablement néfastes sont définis comme les effets sur des individus, sans conséquences sur des populations et les communautés et sont considérés comme d'importance écologique mineure
En anglais, NOEAEC= No Observed Ecologically Adverse Effect Concentration

CSEO : Concentration sans effet observé sur la reproduction des oiseaux exposés par voie alimentaire à long terme (en mg/ kg d'aliment).
En anglais, l'équivalent est : NOEC=No Observed Effect Concentration

CT50/90 : durée nécessaire à l'élimination de 50 ou 90 % de la quantité initiale.

Dicotylédone : Plante dont la graine possède deux cotylédons (deux feuilles primordiales) et dont les nervures sur les feuilles sont divergentes. Par exemple les rosiers, les châtaigniers...

DJA (Dose journalière admissible): Elle correspond à la quantité maximale de résidus qui peut être ingérée quotidiennement par individu, durant toute sa vie, sans risque pour sa santé. Elle est obtenue en divisant la « dose sans effet » par un coefficient de sécurité (au minimum par 100).

Elle s'exprime en milligrammes de substance active par kilogrammes de poids corporel et par jour.

La DJA est également connue sous le terme anglais de ADI ou Admissible Daily Intake. Les DJA sont fixées soit par la Commission de l'union européenne, soit par des instances internationales (FAO/OMS)

DRA (Dose de référence aiguë) : désigne la quantité maximum de substance active qui peut être ingérée par le consommateur pendant une courte période (c'est-à-dire au cours d'un repas ou d'un jour, dans la nourriture ou l'eau de boisson), sans effet dangereux pour sa santé. Elle s'exprime en milligrammes de substance active par kilogramme de poids corporel. Elle est calculée à partir d'une dose sans effet observé (DSE) et d'un facteur de sécurité (FS). La DSE choisie pour le calcul est issue de l'étude la plus appropriée sur une espèce animale sensible et représentative

Elle est plus connue sous le terme anglais (ARfD) : Acute Reference Dose.

L' ARfD est fixée par la Commission de l'union européenne.

DL50 : Dose létale pour 50% des organismes exposés par voie aiguë (en mg/ kg de poids corporel).

DT 50/ DT 90 : durée nécessaire à la dissipation de 50 ou 90 % de la quantité initiale déterminée au laboratoire. Cette durée est aussi appelée temps de demi-vie.

DSE (Dose sans effet) : Elle correspond à la dose maximale de substance pour laquelle on n'observe aucun effet décelable chez l'animal le plus sensible soumis au test le plus sévère. La dose sans effet est évaluée par des études à court terme (28 jours à 3 mois), puis complétée par des études à long terme (18 mois à 2 ans). A partir de son évaluation, la quantité maximale de résidus qui peut être ingérée par l'homme est déterminée.

Ecotoxicologie : Branche de la toxicologie concernée par l'étude des effets toxiques, causés par des polluants naturels ou de synthèse, sur les constituants des écosystèmes, animaux (incluant l'homme), végétaux et microbiens.

Erythème : lésion dermatologique qui consiste en une rougeur congestive de la peau diffuse ou localisée s'effaçant à la vipopression (c'est-à-dire à l'appui).

FBC (Facteur de bioconcentration) est déterminé à l'équilibre. C'est une grandeur sans unité qui est déterminée sur le poisson entier, éventuellement sur les parties comestibles et les viscères

En anglais BCF=bioconcentration factor

Graminée : plante herbacée comme les céréales ou les herbes constituant les pelouses.

Kd : coefficient de distribution sol-eau mesuré expérimentalement pour un sol donné (en mettant en présence une solution de la substance et une masse donnée du sol), et calculé selon une isotherme linéaire. Il est exprimé habituellement en cm^3/g .

Koc : obtenu en rapportant Kd à la fraction de carbone organique du sol ($Koc = Kd / foc$ avec foc correspondant au pourcentage de carbone organique dans le sol).

Lixiviation correspond à la percolation lente de l'eau à travers le sol, accompagnée de la dissolution des matières solides qui y sont contenues. Le liquide résultant est le lixiviat.

LMR (Limites maximales de résidus) : connaissant la Dose journalière acceptable (DJA) et la dose de référence aiguë, il est possible de déterminer les limites maximales de résidus également acceptables dans les aliments. Ces limites sont déterminées au niveau européen.

Elles correspondent à la concentration maximale autorisée existant sur et/ou dans une récolte donnée résultant d'une ou plusieurs applications de la spécialité considérée selon les principes de bonnes pratiques agricoles fixées lors de l'autorisation de mise sur le marché du produit phytosanitaire.

Lysimètre : un cylindre ou un parallélépipède de sol isolé d'environ 1 m² de surface et 1 m de profondeur, placé en conditions extérieures où il reçoit les pluies, éventuellement complétées par une irrigation

Ce test permet d'étudier le risque potentiel de lixiviation des éléments toxiques présentant un risque pour la nappe phréatique en tenant compte du pouvoir épurateur et filtrant des sols.

Métabolite : au cours du processus de dégradation, la « molécule mère » peut se transformer en une ou plusieurs « molécules filles » : les métabolites (l'atrazine se transforme en déséthylatrazine et isopropylatrazine). La toxicité des métabolites d'une molécule n'est pas prévisible. Elle est évaluée grâce aux mêmes tests que ceux effectués pour la molécule mère.

Monocotylédone : plante dont la graine possède un cotylédon (une feuille primordiale) et dont les nervures sur les feuilles sont parallèles. Par exemple : les palmiers, les orchidées...

NAEO (Niveau admissible d'exposition pour l'opérateur) : indicateur de danger pour l'opérateur dans le cas d'une utilisation agricole du produit phytosanitaire.

Il désigne la quantité maximum de substance active à laquelle l'opérateur peut être exposé quotidiennement, sans effet dangereux pour sa santé. Il s'exprime en milligrammes de substance active par kilogrammes de poids corporel et par jour.

Il est plus connu sous le terme anglais AOEL : Acceptable Operator Exposure Level.

L'AOEL est fixé par la Commission de l'union européenne.

Oedème : gonflement d'un organe ou d'un tissu dû à une accumulation ou un excès de fluide.

P_{oe} : coefficient de partage entre le n-octanol et l'eau

En anglais, P_{OW}=partition coefficient between n-octanol and water

Pression de vapeur : elle caractérise l'aptitude d'une substance active à se volatiliser. Elle est exprimée en Pascal (Pa).

Toxicologie : étude de la nature et du mécanisme de la toxicité des substances sur des organismes vivants.

Bibliographie

<http://www.dive.afssa.fr/>
<http://www.dive.afssa.fr/agritox/index.php>
<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>
<http://www.senat.fr/rap/l02-215-2/l02-215-249.html>
<http://www.srpv-midipyrennes.com/pages/experimentations/contenu/comite.htm>
www.rhone-alpes.chambagri.fr/phytov3/pages/legiAMM.htm
www.rhone-alpes.chambagri.fr/phytov3/pages/legiresidus.htm
www.rhone-alpes.chambagri.fr/phytov3/pages/securite_conso.htm
www.srpv-auvergne.com/_publique/experim/homologation.htm
http://www.srpv-aquitaine.com/Biblio/FO/frame_bas.asp?id_doc=1050&requete_sommaire=228
http://draf.bretagne.agriculture.gouv.fr/srpv/rubrique.php3?id_rubrique=3
<http://ddaf59.agriculture.gouv.fr/vegetau/reglementation.htm>
<http://www.bayercropscience.fr/srt/inter/flb/show?location.id=:1307>
<http://www.bayercropscience.fr/srt/inter/flb/show?location.id=:1309>
<http://www.info-pesticides.org/faq/questions.php?id=5>
http://www.info-pesticides.org/pesticides_et_sante/processus_homologation.php
<http://www.fytoweb.fgov.be/FR/doc/bijlage7.pdf>
<http://www.legifrance.gouv.fr/>
<http://www.observatoire-pesticides.fr/>
http://www.sciencescitoyennes.org/article.php3?id_article=1313
<http://www.mdrgf.org>
<http://www.idfe.org/>
«La contamination des eaux par les produits phytosanitaires en région Ile-de-France ; bilan d'activité 1997-2001 » consultable sur le site :
<http://www.ile-de-france.ecologie.gouv.fr/docenconsult/phyto/contaminationphyteauxpropres.pdf>
http://fr.wikipedia.org/wiki/Mise_sur_le_march%C3%A9_d%27un_produit_phytopharmaceutique
http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/guide_new_fr.htm
« Comprendre la réglementation des intrants en agriculture biologique » Hélène Debernardi (ITAB) ; n°66-juillet/août 2004 –consultable sur le site :
http://www.itab.asso.fr/fichiers_pdf/article%20AA/66%20reglementation.pdf
http://www.chemblink.com/name_list.htm
<http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/>
<http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/>
http://www.mce-info.org/Pdf/synthese_pesticides.pdf
http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2004/gendrault_derveaux/09_etude_experimentale.pdf
INERIS-DRC/MECO-45932-143/2005-AGo/rap_restitution_sphair_1_2.doc
<http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2005-02-f.pdf>
http://www.itm.public.lu/sec_sante/procedes_chimiques/phrases_rs/fr/index.html
Les pesticides dans les eaux – données 2003 et 2004 : Les *dossiers Ifen*/numéro 05/août 2006.
Plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides 2006-2009
Herbicides pour le maïs, rapport des firmes et part de marché pour les herbicides en 2000 :
<http://eur-lex.europa.eu/Result.do?idReq=11&page=2>
Rapport sur «la qualité de l'eau et de l'assainissement en France» en 2003
Projet de loi, modifié par l'assemblée nationale, *sur l'eau et les milieux aquatiques en 2006*
La contamination des eaux par les produits phytosanitaires en région Ile-de-France. Bilan d'activité 1997-2000.
Bilan Inra-Cemagref de décembre 2005

Remerciements : Dr. Richard CHARRIER, **Chargé de Mission Recyclage Agricole des Déchets Expert Agrochimie-Environnement**

Madame Anne ALIX, **chef d'unité Ecotoxicologie à la DIVE, AFSSA**