

**UNIVERSITE DE NANTES  
FACULTE DE PHARMACIE**

**ANNEE 2006**

**THESE**

**pour le**

**DIPLOME D'ETAT**

**DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

**par**

**Stéphanie Belliot Lemarié**

**Présentée et soutenue publiquement le 30 octobre 2006**

**PRODUCTIONS VEGETALES : ETUDE DES  
ADJUVANTS AGRICOLES, SECURITE SANITAIRE  
ET ALTERNATIVES**

**Président :** M. Marc LE BORGNE, Maître de conférences de Chimie  
Thérapeutique

**Membres du jury :** M. Patrice LE PAPE, Maître de conférence de Parasitologie  
et Mycologie  
M. Guillaume LE BAUT, Professeur émérite

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION ..... 5

## PARTIE I : LES ADJUVANTS UTILISES EN PRODUCTION VEGETALE..... 6

### I. PRESENTATION GENERALE..... 6

#### A. Les pesticides ou produits phytosanitaires ..... 6

1. Définition ..... 6
2. Présentation générale des pesticides ..... 6
  - a) Présentation historique..... 6
  - b) Avancées et problèmes économiques..... 7
  - c) Avancées et problèmes sanitaires ..... 9
3. Les différentes catégories de pesticides ..... 9
  - a) Les fongicides ..... 9
  - b) Les bactéricides..... 11
  - c) Les herbicides..... 11
  - d) Les insecticides ..... 12
  - e) Autres produits spécifiques..... 17
  - f) Résumé..... 17

#### B. Les fertilisants ..... 18

1. Définitions ..... 18
  - a) les engrais ..... 18
  - b) les amendements ..... 18
2. Présentation générale des fertilisants..... 18
  - a) Historique..... 18
  - b) Evolutions ..... 19
  - c) Problèmes ..... 19
3. Composition des engrais..... 22
  - a) l'azote ..... 22
  - b) le phosphore ..... 22
  - c) le potassium ..... 22
  - d) les autres éléments..... 22

### II. REGLEMENTATION SUR LES PESTICIDES..... 24

#### A. L'autorisation de mise sur le marché (AMM) : la procédure d'homologation... 24

1. Lois et décrets régissant l'homologation des produits phytosanitaires ..... 24
2. La procédure d'autorisation de mise sur le marché (AMM)..... 24

3.	Les instances responsables de la décision de mise sur le marché .....	24
4.	Le dossier d'homologation .....	26
5.	Avis critique sur l'homologation .....	29
<b>B.</b>	<b><u>L'évaluation de la toxicité et de l'impact des pesticides .....</u></b>	<b>30</b>
1.	Sur la biodiversité.....	30
a)	Mode de contamination des espèces .....	30
b)	Définitions.....	30
c)	Concentrations autorisées dans l'environnement et biodiversité .....	30
2.	Sur l'Homme .....	31
a)	Toxicité à court terme .....	31
b)	Toxicité à long terme .....	31
<b>C.</b>	<b><u>L'information de l'utilisateur : l'étiquetage .....</u></b>	<b>33</b>
<b>III.</b>	<b><u>LES EFFETS SUR LA SANTE.....</u></b>	<b>34</b>
<b>A.</b>	<b><u>Les intoxications aiguës .....</u></b>	<b>34</b>
<b>B.</b>	<b><u>Les effets toxiques ponctuels .....</u></b>	<b>34</b>
<b>C.</b>	<b><u>La toxicité chronique .....</u></b>	<b>34</b>
1.	La perturbation endocrinienne .....	34
2.	Les troubles de la reproduction.....	36
3.	La cancérogénicité .....	36
4.	Conclusion.....	37
<b><u>PARTIE II : ETUDE DE L'IMIDACLOPRIDE (GAUCHO®) .....</u></b>		<b>38</b>
<b>I.</b>	<b><u>INTRODUCTION.....</u></b>	<b>38</b>
<b>II.</b>	<b><u>LA CONTROVERSE DE L'IMIDACLOPRIDE.....</u></b>	<b>38</b>
<b>A.</b>	<b><u>RAPPELS HISTORIQUES .....</u></b>	<b>39</b>
1.	Premières observations.....	39
2.	1998 : premières estimations de la toxicité.....	39
3.	France : L'imidaclopride banni comme traitement sur tournesol.....	40
4.	Deuxième série d'études en 1999 et 2000.....	40
5.	Résultats des suspensions en France.....	41
<b>B.</b>	<b><u>ETUDE DE L'IMIDACLOPRIDE UTILISE EN ENROBAGE DES SEMENCES ET TROUBLES DES ABEILLES .....</u></b>	<b>45</b>
1.	Introduction.....	45
2.	L'imidaclopride et ses métabolites : présentation .....	45
a)	Caractéristiques physico-chimiques.....	45
b)	Données d'exposition .....	46

c) Données de toxicité .....	48
3. Evaluation des risques .....	50
a) Evaluation de l'exposition : PEC.....	50
b) Evaluation des effets .....	55
c) Evaluation des risques .....	56
4. Conclusion de l'étude du CTS.....	58
<b>III. CONCLUSION.....</b>	<b>59</b>

## **PARTIE III : LES ALTERNATIVES ..... 60**

### **I. INTRODUCTION..... 60**

### **II. L'AGRICULTURE RAISONNEE ..... 60**

#### **A. La définition et les principes de l'agriculture raisonnée..... 60**

- |   |    |
|---|----|
| 1. Définition.....                          | 60 |
| 2. Principes .....                          | 60 |
| a) Gestion globale de l'exploitation .....  | 60 |
| b) Traçabilité des pratiques agricoles..... | 61 |
| c) Les productions végétales .....          | 61 |
| d) Les animaux.....                         | 61 |

#### **B. Législation ..... 62**

#### **C. Limites..... 62**

### **III. L'AGRICULTURE INTEGREE ..... 64**

#### **A. Principe..... 64**

#### **B. Exemples de lutte intégrée ou lutte biologique..... 65**

#### **C. Limites..... 66**

### **IV. L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE ..... 66**

#### **A. Principe..... 66**

#### **B. Avantages ..... 67**

#### **C. Réglementation..... 67**

- |   |    |
|---|----|
| 1. Introduction.....                                    | 67 |
| 2. Historique et réglementation générale.....           | 68 |
| 3. Semences et matériel de reproduction végétative..... | 68 |
| 4. Alimentation des animaux de compagnie.....           | 69 |
| 5. Les importations .....                               | 69 |

#### **D. Le contrôle en agriculture biologique ..... 70**

#### **E. Les logos Agriculture Biologique..... 71**

<b>F.</b>	<b><u>Les mesures en faveur du développement de l'agriculture biologique.....</u></b>	<b>72</b>
<b>V.</b>	<b><u>LES OGM , UNE ALTERNATIVE A PART .....</u></b>	<b>74</b>
<b>A.</b>	<b><u>Définition .....</u></b>	<b>74</b>
<b>B.</b>	<b><u>Historique.....</u></b>	<b>74</b>
<b>C.</b>	<b><u>Principe et exemple d'application .....</u></b>	<b>75</b>
1.	Comment fabrique-t-on une plante génétiquement modifiée .....	75
2.	Exemple d'application.....	77
<b>D.</b>	<b><u>Application en agriculture végétale .....</u></b>	<b>78</b>
<b>E.</b>	<b><u>Législation des OGM.....</u></b>	<b>80</b>
1.	Processus d'autorisation dans l'union européenne .....	80
2.	Réglementation des OGM dans l'Union Européenne .....	81
3.	Etiquetage des OGM et produits contenant des OGM .....	82
<b>F.</b>	<b><u>Les risques liés à l'utilisation des OGM .....</u></b>	<b>84</b>
1.	Les risques pour l'environnement.....	84
a)	Transmission par pollinisation et croisements intervariétaux.....	84
b)	Apparition d'insectes résistants aux plantes transgéniques.....	86
c)	L'éventuel impact sur les insectes utiles comme l'abeille .....	88
d)	Modification des pratiques agricoles .....	89
e)	Risque de réduction de la biodiversité.....	90
f)	L'impact sur la rhizosphère .....	90
g)	Conclusion.....	90
2.	Les risques pour la santé.....	91
a)	Le risque des gènes de résistance aux antibiotiques .....	91
b)	L'accumulation de certains herbicides dans la chaîne alimentaire .....	92
c)	Les risques d'allergie .....	92
d)	Les possibles dérives .....	93
<b>G.</b>	<b><u>CONCLUSION.....</u></b>	<b>94</b>
	<b><u>CONCLUSION.....</u></b>	<b>95</b>

## **INTRODUCTION**

Depuis plusieurs années, les populations sont de plus en plus sensibilisées et sensibles aux sujets écologiques. On observe ainsi, entre autres, une prise de conscience par la société des impacts négatifs des produits phytosanitaires sur l'environnement et sur la santé humaine (ils sont souvent suspectés d'être responsables de l'augmentation du risque allergique ou de certains cancers).

Sur un autre plan, on observe le renforcement des réglementations européennes et nationales pour encadrer l'homologation et l'utilisation des pesticides et pour limiter les contaminations de l'environnement par ces produits.

L'utilisation maîtrisée et sécurisée des adjuvants de l'agriculture végétale se trouve donc aujourd'hui au cœur des préoccupations pour l'ensemble des acteurs de la société soucieux des problèmes sanitaires.

Ma thèse fait l'objet d'un inventaire des adjuvants de l'agriculture végétale, de l'étude plus particulière de l'insecticide imidaclopride (Gaucho®) et de son implication sur les bouleversements de la population apicole. J'aborderai enfin les alternatives proposées en matière d'agriculture végétale, développées dans le but de réduire la consommation des adjuvants.

# **PARTIE I : LES ADJUVANTS UTILISES EN PRODUCTION VEGETALE**

## **I. PRESENTATION GENERALE**

### **A. Les pesticides ou produits phytosanitaires**

#### **1. Définition**

Les pesticides, appelés également produits phytosanitaires, produits phytopharmaceutiques, agro-pharmaceutiques ou produits de traitement, sont des substances destinées à tuer les herbes (herbicides), les insectes (insecticides), à lutter contre les maladies (fongicides), ou à se débarrasser de divers animaux jugés nuisibles (souricides, raticides, nématicides...).

Un pesticide est composé de deux types de substances :

- Une ou plusieurs matières actives : ce sont ces matières actives qui confèrent au produit l'effet désiré. Exemple de matières actives : le glyphosphate que l'on retrouve dans de très nombreux désherbants totaux, le métaldéhyde, ou l'isoproturon dans les désherbants pour céréales...
- Un ou plusieurs additifs : ces additifs renforcent l'efficacité et/ou la sécurité d'emploi du produit.

En France, on compte environ 450 matières actives homologuées entrant dans la composition de 2200 spécialités commerciales.

#### **2. Présentation générale des pesticides**

##### **a) Présentation historique**

L'introduction des pesticides dans les cultures remonte à l'antiquité. L'usage du soufre paraît remonter à 1000 ans avant J.C., l'arsenic était déjà recommandé par Pline et les produits arsenicaux sont connus en Chine au 16<sup>ème</sup> siècle ; c'est vers la fin de celui-ci que sont signalées les propriétés insecticides du tabac et des racines de Derris et de Lonchocarpus.

L'utilisation plus généralisée des pesticides a suivi les progrès de la chimie minérale. Au 19<sup>ème</sup> siècle, les traitements fongicides sont à base de sulfate de cuivre (dont la célèbre bouillie bordelaise) ou à base de mercure ; les insecticides tels l'arsénite de cuivre, l'acétoarsénite de cuivre, l'arséniate de plomb font leur apparition. Le pyrèthre, une poudre provenant de fleurs du genre *Chrysanthemum* est introduit comme insecticide à cette époque.

Ensuite, les pesticides profitent très largement du développement de la chimie organique déjà avant la seconde guerre mondiale ; mais c'est surtout après cette guerre qu'apparaissent un nombre élevé de molécules. Les recherches militaires avaient déjà perfectionné des gaz de combat qui, à défaut d'être utilisés pendant les hostilités, le furent contre les insectes.

Dans les années 50, des insecticides comme le DDD et le DDT sont utilisés en grandes quantités en médecine préventive (pour détruire le moustique responsable de la malaria) et en agriculture (élimination du doryphore). D'autres biocides sont mis au point pour l'industrie textile et du bois, pour l'usage domestique (aérosols tue-mouches), pour l'entretien des routes et pour une utilisation en médecine.

L'usage de ces produits a connu un très fort développement au cours des décennies passées, les rendant quasiment indispensables à la plupart des pratiques agricoles, quel que soit le niveau de développement économique des pays. De 1945 à 1985, la consommation de pesticides a doublé tous les dix ans. [1]

#### b) Avancées et problèmes économiques

Les pesticides protègent les récoltes contre les maladies (champignons...), les insectes et les mauvaises herbes. Ces agressions, susceptibles de survenir à chaque étape de la culture, nuisent à la production et à la qualité des récoltes.

Les pesticides ont permis aux producteurs de préserver la qualité de la récolte et d'obtenir des récoltes régulières car il y a moins de pertes à chaque étape de la culture. Ceci a permis de maintenir des prix accessibles au plus grand nombre. Ainsi, s'il y a plus de trente ans la part du budget des ménages consacrée à l'alimentation était de 24%, elle n'est plus aujourd'hui que de 15% en moyenne.

La France est le 1<sup>er</sup> consommateur européen de produits phytosanitaires et le 3<sup>ème</sup> consommateur mondial derrière les Etats-Unis et le Japon avec environ 100 000 tonnes de matières actives utilisées en France chaque année. Sur ces 100 000 tonnes, environ 94% sont destinés à l'agriculture, 3% aux jardiniers amateurs et 3% aux collectivités, administrations et SNCF.[2] et [3]

#### **Evolution du tonnage des matières actives entrant dans la composition des spécialités utilisées en France (en tonnes) (enquête annuelle réalisée auprès des adhérents de l'UIPP (Union des Industries de la Protection des Plantes))** [43]

<b>ANNEE</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
<b>Fongicides</b>	42578	48625	64050	59794	63021	52834
<b>Insecticides</b>	7091	5400	6074	4672	3612	3103
<b>Herbicides</b>	27416	36000	33576	36439	42462	30845
<b>Autres</b>	6921	7800	6092	7835	11407	7911
<b>TOTAUX</b>	84006	97825	109792	108740	120502	94692

### Les marchés phytosanitaires en Europe (en millions de dollars)

	CA en millions de \$	Part de marché
<b>France</b>	<b>2299</b>	<b>30.5%</b>
<b>Allemagne</b>	1120	14.9%
<b>Italie</b>	763	10.1%
<b>Grde-Bretagne</b>	654	8.7%
<b>Espagne</b>	616	8.2%
<b>Hollande</b>	281	3.7%
<b>Grèce</b>	194	2.6%
<b>Belgique</b>	133	1.8%
<b>Portugal</b>	130	1.7%
<b>Danemark</b>	106	1.4%
<b>Autriche</b>	86	1.1%
<b>Pologne</b>	200	2.7%
<b>Russie</b>	162	2.2%
<b>Hongrie</b>	104	1.4%

Source : UIPP (Maison de la consommation et de l'environnement – Février 2003) [43]

### c) Avancées et problèmes sanitaires

L'Institut Français de l'Environnement a publié, en 2002, ce résultat : 75% des eaux superficielles et 57% des eaux souterraines sont contaminées par les pesticides.

Aujourd'hui, les pesticides sont montrés du doigt comme un enjeu majeur de santé publique. On les retrouve dans les eaux des rivières et des nappes phréatiques, où ils sont entraînés par le ruissellement, dans l'air, où ils se volatilisent, et dans l'eau de pluie. On peut aussi les dépister dans les fruits, les légumes, les céréales, sous forme de résidus. La Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Bretagne écrit : « **Ces produits sont suspectés de présenter un risque à long terme, par intoxication progressive** ». (Source : Ouest-France, supplément du 15 septembre 2003).

Les répercussions sur la santé des pesticides seront présentées plus en détail dans le chapitre III de cette partie.

L'insecticide imidaclopride utilisé dans la spécialité Gaucho® a été mis en cause face à l'atteinte du cheptel apicole. Ce sujet, qui a suscité de très vives inquiétudes notamment de la part des apiculteurs, sera traité dans la deuxième partie de la thèse.[4] et [7]

## 3. Les différentes catégories de pesticides

### a) Les fongicides

Un fongicide est un produit phytosanitaire conçu pour tuer ou limiter le développement des champignons parasites des végétaux. Il existe une multitude de fongicides pour une multitude de modes d'actions qui bloquent ou affectent l'organisme des germes pathogènes :

- les fongicides multisites (qui agissent sur plusieurs paramètres à la fois),
- les fongicides qui agissent sur la respiration mitochondriale,
- les fongicides qui inhibent la synthèse des stéroïdes ou des acides aminés,
- les fongicides qui perturbent la division cellulaire...

Ces différents modes d'action sont mis en œuvre pour lutter contre un type de maladie en particulier, par exemple, la septoriose, la fusariose ; l'oïdium ou encore la rouille.

(cf. illustrations page suivante)

### La septoriose :



Symptôme de septoriose sur froment



Symptôme de septoriose sur céleri

### La fusariose :



Symptôme de fusariose sur l'épi de maïs



Symptôme de fusariose sur le melon

### L'oïdium :



Symptôme de l'oïdium sur la vigne

### La rouille :



Symptôme d'atteinte par la rouille

Les premiers fongicides utilisés ont été :

- le soufre (1885) puis
- le cuivre (bouillie bordelaise 1885).

Dans les années 40, les premiers produits organiques de synthèse apparaissent, ce sont les dithiocarbamates.

Les autres fongicides employés sont :

- les dérivés du benzène (peu toxiques et assez spécifiques)
- les dérivés des quinones (peu toxiques et assez polyvalents)
- les crotonates
- les phtalimides (polyvalents et peu toxiques)
- les dérivés de la quinoléine et
- les quinolaxines.

### b) Les bactéricides

Une substance bactéricide est une substance ayant la capacité de tuer des bactéries.

Les bactéricides sont des préparations biodynamiques, essences de plantes, dilutions homéopathiques, algues vertes, poudres de roches silicieuses.

Ils agissent directement sur le parasite ou renforcent la plante. Sans précaution d'emploi, certains produits de traitements peuvent laisser des résidus et sont toxiques pour l'Homme. [10]

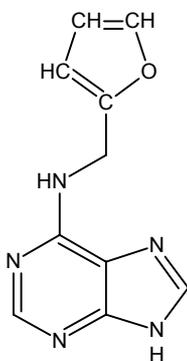
### c) Les herbicides

Au 19<sup>ème</sup> et début du 20<sup>ème</sup> siècle, on utilise des produits minéraux non spécifiques, par exemple, l'acide sulfurique ou le chlorate de sodium.

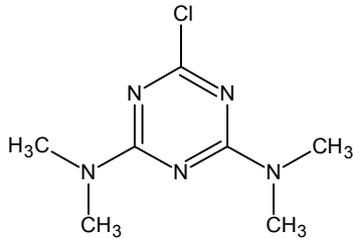
Dans les années 1930, sont utilisés pour la première fois des produits organiques (les colorants nitrés).

Vers 1950, on voit apparaître des insecticides aux propriétés systémiques (pénétration dans la plante) et à faible toxicité. De nombreuses autres familles ont suivi et se distinguent par leur mode d'absorption (au niveau des racines ou au niveau des feuilles) et s'utilisent avant ou après la levée des mauvaises herbes.

En 1956, apparaissent les phytohormones (2,4 D, MPCA) puis les triazines.

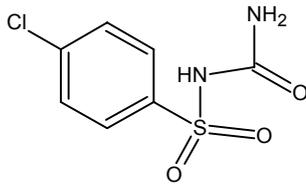


Exemple de phytohormone



Exemple de triazine utilisée dans la culture du maïs

Dans les années 1980, on commence à utiliser les sulfonylurées, ces produits ont un mode d'action spécifique et peuvent être utilisés à très faibles doses (quelques grammes par hectares) sur diverses cultures.



Exemple de sulfonylurée

#### d) Les insecticides

- les insecticides minéraux

Au cours de la deuxième moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, on utilisait déjà des insecticides chimiques d'origine minérale (acétoarsénite de cuivre contre le doryphore, acide cyanhydrique contre la cochenille, etc.).



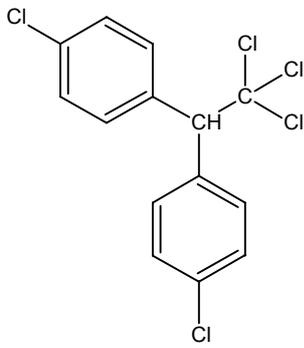
Le doryphore



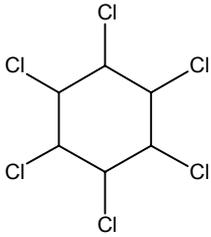
La cochenille

Dans les années 1930, ce sont des produits naturels minéraux arsenicaux (arséniate de plomb) qui sont utilisés.

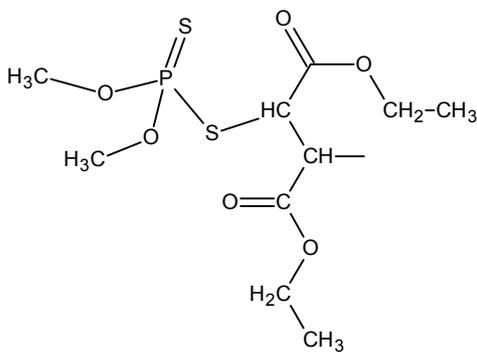
Ensuite, viennent les organochlorés (se dit d'un produit organique de synthèse dérivé du chlore) dans les années 40 (DDT, retiré de la vente en 1972 car trop persistant, et HCH) ; puis les organophosphorés (malathion).



dithiothreitol (DTT)



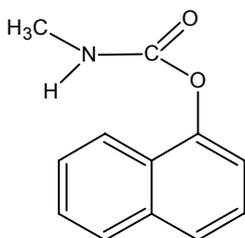
hexachlorocyclohexane (HCH)



malathion

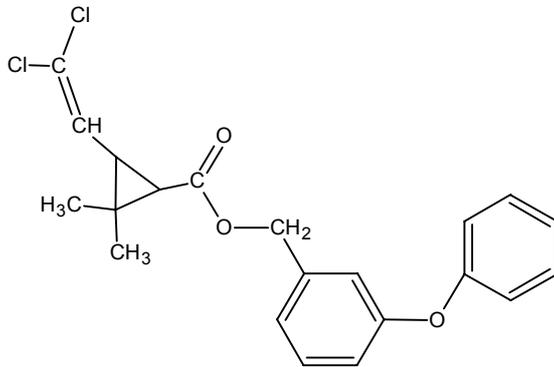
En 1955, on voit apparaître les carbamates puis, en 1976, les pyréthrinoides de synthèse, qui s'utilisent à très faibles doses.

➤ Les carbamates sont des esters de l'acide carbamique  $\text{H}_2\text{N}-\text{COOR}$



carbaryl,  
exemple de carbamate utilisé comme insecticide

➤ Les pyréthrinoides de synthèse sont similaires au pyrèthre naturel produit par les fleurs du chrysanthème. Les pyréthrinoides affectent le système nerveux central et périphérique de l'insecte. Ils stimulent des neurones pour produire des décharges et causer par la suite la paralysie de l'insecte.



perméthrine,  
exemple de pyréthrinoides

- les insecticides biologiques

Par exemple, le trichogramme est mis à contribution pour lutter contre la pyrale (papillon dont les chenilles sont nuisibles aux cultures) du maïs ou des pommes : le trichogramme est un insecte hyménoptère qui parasite la chenille et protège ainsi la récolte du fruit.



Pyrale du  
maïs

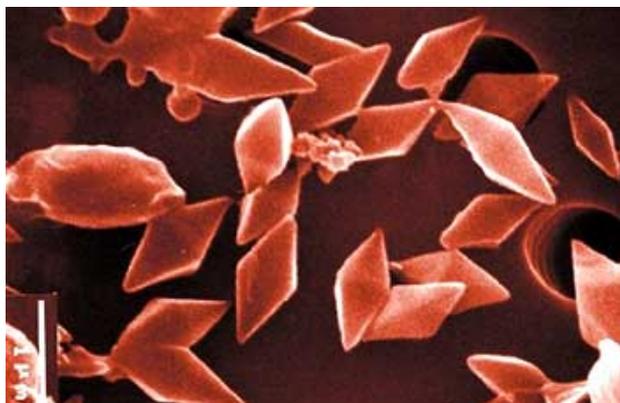


Trichogramme  
Vue de profil

Cet exemple est une des plus célèbres illustrations de lutte biologique.

- les insecticides microbiologiques

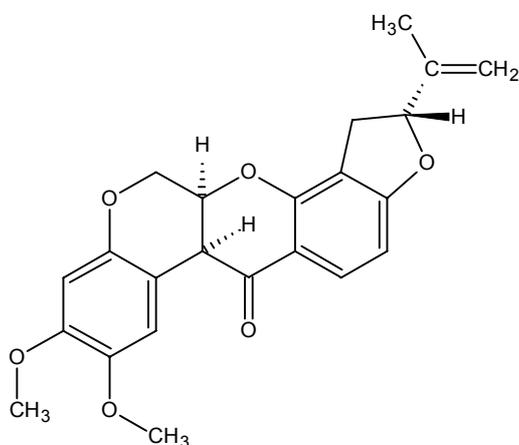
Ce sont des champignons, des virus, des bactéries. Par exemple, *Bacillus thuringiensis* est une bactérie découverte, en 1911, dont les spores provoquent des toxémies en se développant dans le tube digestif des insectes ; cette méthode présente l'avantage d'une innocuité pour l'homme, les vertébrés supérieurs, les abeilles et les auxiliaires naturels.



Spores de *Bacillus thuringiensis*

- les insecticides végétaux

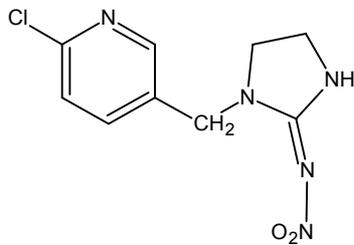
La *roténone* est extraite des racines de diverses légumineuses exotiques et agit par contact, on lui associe généralement une poudre de pyrèthre.



La roténone

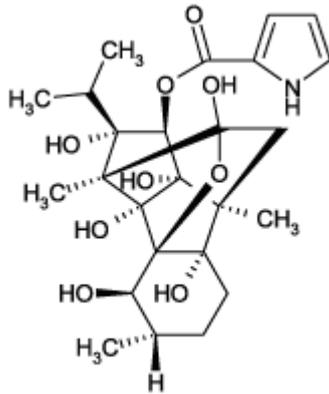
La *nicotine*, même si elle se dégrade rapidement, présente une toxicité certaine. Elle voit son efficacité augmentée lorsqu'elle est présentée sous forme d'émulsion dans de l'huile végétale (huile blanche).

Les dérivés nicotiniques agissent sur le système nerveux central des insectes, en entraînant le colmatage irréversible des récepteurs nicotiniques post synaptiques à l'acétylcholine. [15]



L'imidaclopride, insecticide dérivé de la nicotine

Les *alcaloïdes*, par exemple, la ryanodine, ne sont plus guère utilisés.



La ryanodine

Le pyrèthre est un insecticide botanique produit à partir du chrysanthème de Dalmatie (*Chrysanthemum cinerariaefolium*) ou moins souvent à partir du chrysanthème de Perse (*Chrysanthemum coccineum*), des plantes vivaces originaires d'Europe de l'est et du Caucase.

Le terme "pyrèthre" désigne la poudre faite des fleurs séchées du chrysanthème tandis que le terme "pyréthrine(s)" désigne les six composés insecticides contenues naturellement dans cette poudre. Ces six pyréthrines constituent de 0,9 à 1,3% des fleurs séchées. Le mot "pyrethrum" est le nom commun latin qui désigne les variétés ornementales développées à partir du chrysanthème de Perse. Les *pyréthrines* sont efficaces sur les insectes et les animaux à sang froid, non dangereuses pour l'homme mais s'altèrent vite.



Fleur de *Chrysanthemum cinerariaefolium*

Remarque : les pyréthrinoides de synthèse (perméthrine, cyfluthrine, fenvalérate, deltaméthrine) exigent des précautions d'emploi compte tenu de leur rémanence particulière.

e) Autres produits spécifiques

Les agriculteurs font aussi appel à des produits spécifiques tels que les nématicides, acaricides ou encore les rodenticides (contre les rats, souris et autres petits rongeurs).

f) Résumé

**Les différents pesticides classés en fonction de leur utilisation et de leur composition chimique**

<b>Fongicides</b>	<b>Herbicides</b>	<b>Insecticides</b>	<b>Rodenticides</b>
Benzènes substitués Thiocarbamates Ethylène bis dithiocarbamates Thiophtalimides Composés organo-metalliques	Composés chlorophénoxy Pentachlorophénol Crésol nitrophénol Paraquat, diquat Dérivés de l'arsenic	Organophosphates Carbamates Organochlorés Pyréthrines et pyrethroides Dérivés de l'arsenic	Inorganiques Coumarines/indanediones Convulsants Cholécalciférol

## **B. Les fertilisants**

### **1. Définitions**

#### a) les engrais

Les besoins des plantes n'étant, en général, pas complètement satisfaits par le milieu sur lequel elles sont cultivées, l'apport d'engrais est pratiquement la règle. On distingue : les engrais solides, en granulés ou pulvérulents ; les engrais solutions, dissolution d'engrais solides dans l'eau ; les engrais suspension, constitués de particules en suspension dans l'eau ; les engrais gazeux, stockés sous pression et qui se détendent à l'atmosphère.

On classe aussi les engrais d'après la composition chimique : engrais minéraux ou organiques ; d'après le nombre d'éléments fertilisants : engrais simples (un seul élément : azoté, phosphaté, potassique), engrais composés (deux, trois éléments au plus). Les teneurs en éléments fertilisants sont exprimées en kilogrammes de chaque élément pour 100 kg de produit.

#### b) les amendements

Les amendements sont des substances que l'on ajoute, généralement en grande quantité, aux sols pour améliorer leur qualité physique (structure), chimique (acidité) et biologique (humus). Généralement, il s'agit d'amendements calcaires, qui agissent sur les qualités physiques et chimiques du sol (notamment en augmentant le pH), établissant ainsi un milieu plus propice au développement des cultures, ou d'amendements organiques, qui améliorent la structure chimique du sol par l'apport d'humus et qui favorisent la vie microbienne du sol. Les amendements contiennent souvent des quantités non négligeables d'éléments nutritifs et sont parfois assimilés à des engrais.

### **2. Présentation générale des fertilisants**

#### a) Historique

La fertilisation existe depuis que les populations devenues sédentaires, cultivent le sol. Jusqu'à la fin de 18<sup>ème</sup> siècle, les pratiques agricoles étaient basées sur la rotation : alternance entre des années de culture et de jachère, au cours desquelles les réserves du sol pouvaient se reconstituer. Les déjections animales, seules sources de fertilisants, n'étaient pas en quantité suffisantes pour assurer le maintien de la fertilité des sols.

La fin du 18<sup>ème</sup> siècle voit la multiplication des sociétés d'agriculture. Avec les progrès de la chimie, les connaissances sur le sol et sur la nutrition des plantes progressent. Ce n'est qu'au milieu de 19<sup>ème</sup> siècle que l'expérimentation en agriculture se développe, les lois de fertilisation sont formulées, les premiers engrais minéraux apparaissent. Les rendements commencent à progresser. Mais ce n'est qu'au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle que la véritable révolution s'accomplira grâce aux progrès réalisés en matière de sélection des variétés, de fertilisation, de protection des cultures, de mécanisation et d'amélioration des techniques agricoles. Ces progrès permettront, en France, de quadrupler les rendements en 50 ans et, dans le monde, de mieux répondre aux besoins d'une population toujours croissante. [13]

## b) Evolutions

### ➤ **Augmentation du rendement des cultures**

Evolution du rendement moyen d'un champ de blé - Source ITCF [1] (Institut Technique des Céréales et des Fourrages) :

Rendement d'un hectare de blé en France en quintaux :

... 1850	10
1850 - 1950	16
1950 - 1973	25
1973 - 1980	48,5
1980 - 1995	66
1995	70

### ➤ **Consommation de fertilisants minéraux dans le monde**

	1960-61	1990-91	1996-97
Pays en voie de développement	4	65	80
Europe centrale et ex-URSS	6	28	8
Pays de l'OCDE	20	45	46
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>138</b>	<b>134</b>

Unité : million de tonnes d'éléments fertilisants

## c) Problèmes

### ➤ **Pollution des eaux**

Comme toute activité humaine, l'utilisation inconsidérée de fertilisants peut avoir un impact sur l'environnement. L'avantage des fertilisants, qui est d'apporter des éléments nutritifs à la plante, peut alors se transformer en risque pour l'environnement.

Le phénomène de lessivage (entraînement en profondeur par l'eau des sels solubles des colloïdes du sol) est naturel, il se produit dans tous les écosystèmes, même en l'absence de fertilisation. Le lessivage est lié aux conditions météorologiques (fortes pluies). Cependant, il peut être amplifié par certaines pratiques culturales : des apports excessifs par exemple, de lisiers ou d'engrais minéraux en dehors des périodes de besoin important des plantes. En raison de leur solubilité dans l'eau, ce sont surtout les éléments azotés (sous la forme de nitrates) qui sont mis en cause, car ces éléments sont aisément lessivés. On peut les retrouver dans les eaux de ruissellement, les nappes phréatiques et les cours d'eau. [37] [43]

Le ruissellement et le lessivage peuvent conduire à l'**eutrophisation** : il s'agit d'un enrichissement des eaux de surface par des éléments nutritifs, en premier lieu le phosphore, qui aboutira, à terme à la disparition de la vie. Ce

phénomène se déroule naturellement en 100 ou 200 ans. Quand les apports en éléments nutritifs sont excessifs, l'eutrophisation s'accélère, on parle alors de **dystrophisation** qui peut se dérouler en une vingtaine d'années.

On distingue quatre étapes :

- enrichissement de la teneur en nutriments (phosphore et azote),
- prolifération des algues,
- décomposition des algues et diminution de la concentration en oxygène des couches profondes,
- décomposition des algues en absence d'oxygène qui conduit à la production de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) dans le fond et une remontée progressive de la chimiocline (limite entre les eaux oxygénées et les eaux non oxygénées).

Dans un premier temps, on constate une augmentation de la productivité primaire (algues) et des organismes qui se nourrissent de ces algues, des poissons herbivores par exemple. Dans un second temps on observe une augmentation du nombre de poissons carnivores. Ces phénomènes peuvent laisser croire que le lac, l'étang sont en équilibre alors qu'ils sont les précurseurs de la troisième phase au cours de laquelle l'ensemble des organismes vivants disparaîtra en raison de la diminution de la teneur en oxygène.

Sur les côtes, l'afflux d'éléments nutritifs et la conjonction d'éléments météorologiques favorables (lumière et chaleur) peuvent amener une rapide prolifération d'algues, il s'agit d'un bloom algal. Certaines de ces algues sécrètent des toxines qui seront absorbées par les coquillages les rendant impropres à la consommation humaine.

La première mesure à mettre en œuvre afin de limiter les phénomènes de dystrophisation est de limiter les rejets. Il est indispensable de toujours prendre en compte toutes les sources d'une pollution lorsqu'on souhaite remédier à ses effets.

Les phénomènes d'eutrophisation sont responsables de la mauvaise qualité d'un tiers des rivières françaises, un autre tiers présente une eutrophisation modérée.

- La limitation des rejets dans l'environnement passe par des initiatives volontaires et des actions menées dans un cadre réglementaire. Parmi les initiatives basées sur le volontariat, on peut rappeler les opérations Ferti-mieux et le réseau Farre qui, dans la pratique, se traduisent par une optimisation des apports de fertilisants minéraux, une amélioration des pratiques d'épandage des effluents d'élevage, le fractionnement des apports, la gestion des intercultures et de l'enherbement pour limiter les risques de transfert par ruissellement...

Les actions réglementaires sont :

– les actions menées dans le cadre de la directive européenne "nitrates" relative à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole :

- délimitation de zones vulnérables dont les teneurs en nitrates dépassent le seuil des 50 mg/l ou dont les eaux ont tendance à l'eutrophisation,
- pour ces zones, la mise en œuvre du Code de bonnes pratiques agricoles,

-l'application de mesures correctrices arrêtées par le préfet de chaque zone concernée. Un second programme d'action devait débuter au mois d'Octobre 2000.

– l'application du Programme de maîtrise des pollutions organiques d'origine agricole (PMPOA).

– la réglementation de mise sur le marché. [37]

- Il est difficile de mettre en évidence les effets de ces mesures correctives :
  - les efforts des uns peuvent être compromis par les mauvaises pratiques de certains : le niveau de pollution d'un cours d'eau sera le reflet de celui des eaux de ruissellement provenant de l'ensemble des activités d'un bassin versant.

- en raison du temps de transit depuis la surface des sols jusqu'aux nappes souterraines, l'amélioration de la qualité de ces eaux ne sera perceptible qu'après plusieurs années.

- On doit également signaler que certains fertilisants apportent aux sols des éléments trace. [13]

### ➤ Effets de nitrates sur la santé humaine

Les effets sur la santé habituellement associés aux nitrates sont les suivants :

- La cyanose du "nourrisson" : la méthémoglobinémie

C'est une maladie extrêmement rare qui n'affecte que les jeunes nourrissons. Elle est provoquée par la transformation des nitrates en nitrites en présence d'une abondance anormale de bactéries dans l'alimentation due à une hygiène particulièrement mauvaise. Elle entraîne une asphyxie qui, sans traitement, peut être mortelle. [13]

- Les risques de cancers gastro-intestinaux

A l'origine de cette hypothèse, la transformation dans la bouche des nitrates salivaires en nitrites et peut-être en nitrosamines dans l'estomac. Le pouvoir cancérigène des nitrosamines a été démontré sur l'animal et l'homme. Cependant, le lien entre nitrates ingérés et nitrosamines n'est pas clairement établi chez l'homme.

Dans une publication, l'OMS précise qu'il n'y a pas de preuve d'une association entre exposition aux nitrates et nitrites et risques de cancer (*Nitrate and nitrite, Guideline for drinking-water quality, ad. Vol.1 recommendations, WHO 1998, pp8-10*), mais en raison des incertitudes dans ce domaine, elle maintient des valeurs guides provisoires et révisables.

- Pour protéger les personnes sensibles (nourrissons, femmes enceintes) la réglementation vise à réduire l'exposition aux nitrates provenant des denrées alimentaires et de l'eau. Elle fixe des teneurs maximales pour certains produits : la laitue et les épinards ont des teneurs maximales qui varient de 2 000 à 4 500 mg de nitrate par kilo, l'eau potable ne doit pas contenir plus de 50 mg de nitrate par litre.[13]

### 3. Composition des engrais

#### a) l'azote

L'azote est un élément essentiel de la photosynthèse qui permet la transformation de la matière minérale en tissu végétal.

L'azote est présent dans l'air mais les plantes, à l'exception des Légumineuses (luzerne, trèfle, pois...), ne peuvent pas l'absorber sous forme gazeuse. Dans le sol, l'azote est sous forme organique ou minérale (ammonium  $\text{NH}_4^+$ , nitrate  $\text{NO}_3^-$ ). L'azote organique (résidus des récoltes précédentes, engrais organiques...) doit être transformé par les micro-organismes présents dans le sol en nitrates pour être utilisable par les plantes ; c'est la minéralisation. Ce sont essentiellement les nitrates qui assurent la nutrition azotée des plantes.

Le cycle de l'azote dépend des conditions climatiques et de la microbiologie du sol. Les nitrates sont peu retenus par le sol, il faut donc les apporter quand la plante est prête à les absorber afin d'éviter le lessivage vers les nappes phréatiques. L'azote est un facteur de croissance et un facteur de qualité qui influe sur le taux de protéines des végétaux.

#### b) le phosphore

Le phosphore est nécessaire à la croissance des plantes. Il est présent dans le sol sous la forme de phosphates : soit dissous dans l'eau, soit fixés sur les particules du sol, soit dans les minéraux ou encore sous forme organique.

Au fur et à mesure que les racines prélèvent le phosphate dissous dans l'eau, les molécules fixées sont progressivement libérées. Le phosphore sous forme organique est lentement minéralisé. Mais ces échanges sont très lents. Le cycle du phosphore est dépendant des caractéristiques physiques et chimiques du sol. Ce sont les cultures de pommes de terre, de légumes et de betteraves qui ont les plus grands besoins en phosphore

#### c) le potassium

Le potassium joue un rôle primordial dans la formation et le stockage des sucres, il aide également la plante à résister au froid, à la sécheresse et aux maladies.

Le potassium de la solution du sol est retenu par l'humus ou l'argile ; celui contenu dans les minéraux ne sera libéré que très lentement.

Comme pour le phosphore, le cycle du potassium est dépendant des caractéristiques physiques et chimiques du sol.

Toutes les cultures n'ont pas les mêmes besoins en potassium : les pommes de terre, les légumes en général et les betteraves sont plus exigeants que les céréales par exemple. Généralement l'apport en potassium est réalisé avant la plantation.

#### d) les autres éléments

Le calcium et le magnésium sont destinés essentiellement à améliorer la structure du sol, ils sont apportés sous forme d'amendements.

Le soufre est nécessaire à la synthèse des protéines, il est apporté par certains engrais sous la forme de sulfates. Ce sont les crucifères (choux, colza...) et l'ail,

l'oignon, le poireau qui ont les plus grands besoins en soufre.

Les oligo-éléments (cuivre, manganèse, zinc, bore, molybdène, fer...) participent à doses très faibles à la nutrition des plantes. Cependant une carence dans l'un de ces éléments peut provoquer un trouble de la végétation. Ces carences peuvent être provoquées soit par une teneur insuffisante soit par la non disponibilité de l'élément.

## **II. REGLEMENTATION SUR LES PESTICIDES**

### **A. L'autorisation de mise sur le marché (AMM) : la procédure d'homologation**

#### **1. Lois et décrets régissant l'homologation des produits phytosanitaires**

La mise sur le marché des produits phytosanitaires est régie par la directive 91/414/CEE du 15 juillet 1991. Elle a été traduite en droit français par le décret n°94-359 du 5 mai 1994 relatif au contrôle des produits phytopharmaceutiques et son arrêté d'application du 6 septembre 1994 (modifié par les arrêtés de 1<sup>er</sup> février 1996, du 24 septembre 1996, du 18 janvier 1998 et du 27 mai 1998). [4] et [5]

#### **2. La procédure d'autorisation de mise sur le marché (AMM)**

La mise sur le marché d'un nouveau pesticide (sa commercialisation) est systématiquement subordonnée à une autorisation officielle assortie de conditions d'utilisation conformes aux principes des bonnes pratiques agricoles et de la lutte intégrée contre les ennemis des végétaux. La procédure d'autorisation de mise sur le marché consiste à vérifier que ces 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, ainsi qu'à imposer des exigences concernant leur emballage et leur étiquetage.

Pour aboutir à l'homologation d'une matière active, il faut 8 à 10 ans de recherche et un investissement d'environ 140 millions d'euros.

Le dossier d'homologation est déposé par la firme au Ministère de l'Agriculture et de la Pêche où il sera étudié par les différentes instances responsables. [4], [5] et [37]

Le schéma d'homologation selon la directive 91/414 est présenté page 26.

#### **3. Les instances responsables de la décision de mise sur le marché**

En France, l'autorisation de mise sur le marché (AMM) des produits relève de la compétence de la *Direction générale de l'alimentation (DGAL) du Ministère chargé de l'agriculture* qui s'appuie notamment sur l'expertise de la Commission d'étude de la toxicité, ainsi que sur plusieurs instances complémentaires composées d'experts désignés, d'agents de l'administration et de représentants de la société civile (associations de consommateurs et associations de protection de l'environnement).

Ces instances sont conduites, selon leurs compétences, à traiter de l'évaluation du risque pour la santé et l'environnement des produits ou de la gestion des risques présentés par ces produits, elles sont au nombre de cinq :

##### **• La commission d'étude de la toxicité des produits antiparasitaires à usage agricole et des produits assimilés**

Cette instance d'experts est placée sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Cette commission s'appuie sur une structure scientifique et technique créée conjointement par l'INRA et le Ministère de l'agriculture et de la

pêche : la Structure scientifique mixte (SSM). La SSM gère une base de données AGRITOX ([www.inra.fr/agritox/](http://www.inra.fr/agritox/)) sur les caractéristiques et propriétés des substances actives phytopharmaceutiques (physico-chimie, toxicologie, écotoxicologie, environnement). [39]

La Commission d'étude de la toxicité dispose aujourd'hui, dans l'état actuel des connaissances scientifiques, d'un ensemble de données scientifiques qui permet l'évaluation du risque des pesticides pour l'homme et pour l'environnement. Cette évaluation est réalisée en tenant compte des conditions d'utilisation et dans le cadre du respect des bonnes pratiques agricoles.

La première partie de l'évaluation porte sur les substances actives entrant dans la composition des pesticides. Les substances actives sont évaluées dans le cadre de la Directive européenne 91/414/CEE. Autrement dit, les États membres se partagent l'évaluation des substances actives, ces dernières étant ensuite soit inscrites à l'Annexe I de la Directive, soit retirées du marché.

La seconde partie de l'évaluation porte sur les préparations commerciales contenant une ou plusieurs substances actives. L'évaluation des préparations et l'autorisation de mise sur le marché sont sous la responsabilité des États membres dans le strict respect des résultats de l'évaluation européenne. [5]

#### **• Le comité d'homologation (produits antiparasitaires à usage agricole, matières fertilisantes et supports de culture)**

Le comité d'homologation est l'instance interministérielle chargée de préparer la décision de mise éventuelle sur le marché d'un produit phytosanitaire, à partir des évaluations des risques, de l'efficacité et de la sélectivité du produit concerné. La proposition de décision faite au ministre de tutelle comprend des mesures individuelles de gestion du risque (délais avant récolte, gestion du risque aquatique, restrictions d'emploi, gestion des résistances).

Le comité élabore et propose par ailleurs des dispositifs plus généraux de gestion du risque pour une famille ou une catégorie de produits. C'est par exemple le cas des dispositifs de surveillance de la contamination des eaux par une substance (suivi post-homologation).

Le comité est composé de représentants des différents ministères et administrations concernées ; il s'attache le concours d'experts du ministère de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). [37] et [39]

#### **• La commission des produits antiparasitaires à usage agricole**

Cette commission réunit chaque trimestre une cinquantaine de 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.

La commission donne un avis sur tout projet de texte législatif, réglementaire ou technique sur le sujet, ainsi que sur des mesures générales envisagées par l'administration. Ses membres participent par ailleurs à des groupes de travail thématiques chargés de l'élaboration de ces textes et mesures.

### **• Le conseil national de l'agrément professionnel**

Le conseil national de l'agrément professionnel est une instance consultative associant professionnels et représentants de l'administration, sur le thème de l'agrément des distributeurs et utilisateurs de produits phytopharmaceutiques (loi n°92-533 du 17 juin 1992).

### **• La commission des matières fertilisantes et supports de cultures**

La commission des produits phytopharmaceutiques, des matières fertilisantes et des supports de culture (CMFSC) qui est une instance consultative large rassemblant l'ensemble des organismes intervenant dans le domaine des matières fertilisantes et supports de culture, qu'il s'agisse d'organismes publics, professionnels ou d'utilisateurs.

Cette commission, créée par le décret n°80-477 du 16 juin 1980 est chargée :

- de proposer au ministre de l'Agriculture toutes les mesures susceptibles de contribuer à la normalisation, à la définition et, éventuellement à l'établissement des conditions et modalités d'emploi des matières fertilisantes et des supports de culture ;
- de définir les méthodes de contrôle de la composition et de l'évaluation des matières fertilisantes et des supports de culture soumis à l'homologation ;
- de donner son avis sur toutes questions que lui soumettent les ministres intéressés au sujet des produits énumérés à l'article 1er de la loi du 13 juillet 1979. [4] et [5]

## **4. Le dossier d'homologation**

L'autorisation de mise sur le marché (AMM) repose sur la présentation d'un dossier scientifique normalisé obtenu avec des méthodes d'expérimentation et de contrôle standardisées : les fabricants de produits déposent auprès du Ministère de l'agriculture une demande d'autorisation de mise sur le marché. Cette demande est accompagnée obligatoirement d'un dossier toxicologique, éco-toxicologique et d'un dossier biologique complets. Il est à noter que si le dossier toxicologique est refusé, l'instruction du dossier s'arrête.

-**Le dossier toxicologique** : il renseigne les experts de la Commission d'étude sur la toxicité des produits antiparasitaires à usage agricole et des produits assimilés : de la toxicité du produit pour l'homme et l'environnement (faune, flore, milieux). Suite à cet examen, les experts proposent un classement toxicologique et des conseils de prudence à respecter pour une utilisation en toute sécurité.

-**Le dossier éco-toxicologique** : il renseigne sur les conditions de dégradation de la substance, évaluation du risque vis-à-vis de l'environnement.

-**Le dossier biologique** : il renseigne les experts sur les résultats quant à l'efficacité sur la préparation et la sélectivité du produit à l'égard des végétaux. Une proposition de décision d'AMM est préparée par le comité d'homologation.

L'évaluation des matières actives et des préparations phytopharmaceutiques suit les dispositions de la directive 91/414/CEE.

Cette évaluation comporte notamment une estimation du risque pour l'homme afin de déterminer :

- la dose journalière admissible pour l'homme dans l'alimentation (**DJA**), fixée par type de substance active,
- la dose maximale acceptable pour le manipulateur (**AOEL**),
- la limite maximale de résidus (**LMR**) fixée par type de denrées consommées et
- les délais d'application avant récolte (**DAR**).

Cette directive et les règlements et décisions de la Commission qui lui sont associés prévoient que les substances actives phytopharmaceutiques les plus utilisées et/ou les plus problématiques devaient toutes être évaluées au 31/12/2005, toutes les autres devant l'être avant le 31/12/2008.

Les substances pour lesquelles une décision de retrait est intervenue devaient être retirées du marché avant le 31/03/2004, avec dérogations pour certaines d'entre elles jusqu'au 30/06/2007.

Les substances pour lesquelles l'évaluation aboutit à une autorisation sont ajoutées à l'annexe I de la directive 91/414.

## SCHEMA D'HOMOLOGATION SELON LA DIRECTIVE 91/414

### HOMOLOGATION OFFICIELLE DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

La directive 91/414/CEE harmonise les conditions d'obtention d'une autorisation de mise sur le marché (AMM)

L'obtention d'homologation d'un produit phytosanitaire est soumise à **2 exigences** qui font l'objet d'études détaillées fournies par les firmes:

**Reconnaissance de l'efficacité du produit et de sa sélectivité vis-à-vis des végétaux traités: DOSSIER BIOLOGIQUE**

**Evaluation du Risque** : substance active et préparation.  
Reconnaissance de son **innocuité à l'égard de la santé humaine** (exposition opérateur, risque consommateur) : **DOSSIER TOXICOLOGIQUE** ; Reconnaissance de son **innocuité à l'égard de l'environnement** (eau, sol, air, effets sur la faune et flore) : **DOSSIER ECO-TOXICOLOGIQUE**  
**Classement toxicologique** : Phrases de risques et conseils de prudence

Pour être autorisées, les nouvelles substances actives doivent être inscrites sur une liste positive communautaire (Annexe I Directive 91/414/CEE)

**L'homologation des spécialités commerciales reste de la compétence de chaque Etat**

## 5. Avis critique sur l'homologation

Très volumineuse, la procédure d'homologation consiste à vérifier l'efficacité de la matière active ou du produit formulé, à évaluer le risque toxicologique et écotoxicologique de la matière active ou du produit formulé et à déterminer les règles d'utilisation pour limiter les impacts possibles sur la santé et sur l'environnement. La procédure d'homologation ne peut donc en aucun cas garantir une innocuité de la matière active sur la santé et l'environnement. Cela est d'autant vrai que :

- Les tests sont réalisés par la firme demandeuse et non par des scientifiques indépendants (le protocole scientifique de chaque test est tout de même fixé par la réglementation)
- L'investissement financier pour aboutir à l'homologation d'une matière active est très important. Certains se demandent donc si des pressions économiques ne peuvent faire irruption auprès des différents acteurs participant au processus décisionnel d'homologation de la molécule.
- Certains tests effectués sur la matière active ne le sont pas sur le produit formulé.
- Certains tests ne sont pas effectués que ce soit sur la matière active ou sur le produit formulé, notamment :
  - des tests effectués à des périodes critiques du développement foetal
  - des tests spécifiques pour les perturbateurs endocriniens
  - des tests systématiques sur l'immunotoxicité
  - des tests de bioaccumulation dans les chaînes trophiques.
- L'évaluation toxicologique et écotoxicologique est réalisée pour chaque molécule indépendamment des autres. Par conséquent, deux effets ne sont pas pris en compte :
  - les effets cumulés
  - les effets de synergie
- Certaines homologations datent de plusieurs dizaines d'années. Très souvent, c'est à posteriori, après une utilisation de plusieurs années que l'on s'aperçoit de la toxicité réelle d'une matière active et de ses effets sur l'environnement.

## **B. L'évaluation de la toxicité et de l'impact des pesticides**

### **1. Sur la biodiversité**

#### **a) Mode de contamination des espèces**

Les animaux peuvent être intoxiqués par les pesticides :

- soit directement : en absorbant, en respirant ou en étant en contact direct avec des pesticides ;
- soit indirectement : en consommant de la végétation traitée, en mangeant une proie elle-même intoxiquée, ou en buvant de l'eau contaminée.

Les effets peuvent être les suivants : mort subite, mort prématurée, atteinte à la fertilité, malformations des espèces, baisse des défenses immunitaires... Certaines molécules ont même la propriété de s'accumuler dans les graisses et donc de se concentrer tout au long de la chaîne alimentaire. [14]

#### **b) Définitions**

**DL50 et CL50**- Pour estimer la toxicité aiguë d'une matière active vis-à-vis des espèces animales, le dossier d'homologation doit contenir les résultats de DL50 et de CL50. On calcule la DL50 par ingestion et la CL50 par inhalation. La dose létale 50 est la dose de matière active qui, administrée en une seule fois à une population d'un animal, tue 50 % de la population de cet animal. Pour les espèces aquatiques, on parle de concentration létale 50 (CL50).

**CSEO**- Pour estimer la toxicité chronique d'une matière active vis-à-vis des espèces animales, le dossier d'homologation doit contenir les résultats de CSEO. La concentration sans effets observés est la concentration de matière active dans l'eau, dans l'air ou dans l'alimentation telle qu'un animal exposé à cette concentration ne manifeste aucun effet indésirable.

L'homologation comprend en principe des tests de toxicité aiguë et des tests de toxicité chronique pour les oiseaux, les organismes aquatiques, les arthropodes (dont l'abeille), les vers de terre et les micro-organismes du sol. [6]

#### **c) Concentrations autorisées dans l'environnement et biodiversité**

L'arrêté modifié du 6 septembre 1994 fixe que les caractéristiques d'un pesticide doivent être telles que :

- Pour les oiseaux et autres invertébrés terrestres  
Toxicité à court terme (DL50) / exposition >10  
Toxicité à long terme (CSEO) / exposition > 5
- Pour les poissons et les daphnies  
Toxicité à court terme (DL50) / exposition >100  
Toxicité à long terme (CSEO) / exposition > 10
- Pour les algues  
Inhibition de la croissance des algues / exposition (concentration dans la mer) > 10

- Pour les vers de terre  
Toxicité à court terme (DL50) / exposition >10  
Toxicité à long terme (CSEO) / exposition > 5
- Pour les abeilles  
Il y a lieu de calculer les quotients de risque concernant l'exposition orale (Qho) ou de contact (Qhc). Les caractéristiques d'un pesticide doivent être telles que :  

$$Qho = \text{Dose} / \text{DL50 orale } (\mu\text{g de substance active par abeille}) < 50$$

$$Qhc = \text{Dose} / \text{DL50 de contact } (\mu\text{g de substance active par abeille}) < 50$$

## 2. Sur l'Homme

### a) Toxicité à court terme

L'évaluation de la toxicité aiguë de la matière active a pour but d'évaluer les risques liés à la manipulation du produit.

L'évaluation de la toxicité aiguë d'une matière active se fait par le calcul de la DL50 sur un animal de laboratoire : rat, souris, lapin. [6]

De ces observations sur rat, on déduira un classement toxicologique de la molécule pour l'homme et le symbole de risque associé. Voilà le tableau de correspondance qui sert lorsqu'un produit contient une seule matière active :

Valeurs de référence	Ingestion DL50 (rat,orale) (mg/kg)		Pénétration cutanée DL50 (rat, cutanée) (mg/kg)		Inhalation CL50 (mg/l)
	liquide	solide	liquide	solide	gazeux
<b>Très toxique (T+)</b>	<25	<5	<50	<10	<0,5
<b>Toxique (T)</b>	>25 et <200	>5 et <50	>50 et <400	>10 et <100	>0,5 et <2
<b>Nocif (Xn)</b>	>200et <2000	>50 et <500	>400 et <4000	>100 et <1000	>2 et <20

### b) Toxicité à long terme

#### ➤ Définitions

**DJA ou DJT**- La Dose Journalière Admissible pour l'Homme encore appelée Dose Journalière Tolérable, est la quantité d'une matière active, par kilo de poids corporel, que pourrait absorber une personne, quotidiennement, durant toute sa vie, sans que cela lui pose des problèmes de santé. Elle s'exprime en milligramme par kilo de poids corporel de la personne et par jour (mg/kg/jour).

**QJA ou QJT**- La Quantité Journalière Admissible pour l'Homme encore appelée Quantité Journalière Tolérable, est la quantité que pourrait absorber une personne d'un poids donné, quotidiennement, durant toute sa vie, sans qu cela lui pose des problèmes de santé. Elle s'exprime en milligramme par jour (mg/jour).

**DSE-** C'est la dose la plus élevée d'une matière active qui ne provoque aucun effet décelable chez deux générations d'animaux soumis à expérimentation (souris, rat, lapin).

**Le calcul de la DJA :** une extrapolation de la DES.

La Dose Journalière Admissible pour l'Homme se calcule en divisant la dose sans effet pour le rat (ou autre animal d'expérience) par trois coefficients :

- Un coefficient de variabilité inter-espèce égal à 10 : ce coefficient est destiné à prendre en compte le risque qu'une matière active soit jusqu'à 10 fois plus toxique pour une espèce que pour une autre
- Un coefficient de variabilité intra-espèce égal à 10 : ce coefficient est destiné à prendre en compte le risque qu'une matière active soit jusqu'à 10 fois plus toxique pour un individu d'une espèce que pour un autre individu de la même espèce
- Un coefficient de sécurité supplémentaire de 1 à 10

➤ Toxicité difficile à évaluer

L'appréciation de la toxicité d'une matière active est différente suivant l'organisme chargé de l'évaluation. Par exemple, la matière active de Manèbe® est classée :

- Par l'UE (Union Européenne): R43-peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau ;  
R37-irritant pour les voies respiratoires.
- Par l'EPA (Environmental Protection Agency) des Etats-Unis : Cancérogène probable
- Par la NAS (National Academy of Sciences) des Etats-Unis : à risque de cancer

Par ailleurs, son usage est prohibé en Suède.

Les études visant à analyser les liens entre expositions aux pesticides et effets sur la santé à long terme sont très nombreuses. Elles se heurtent à des difficultés majeures qui rendent les certitudes difficiles voire impossibles à obtenir. Parmi ces difficultés, citons notamment :

- la multi-exposition à un grand nombre de polluants
- l'existence de populations sensibles ou à risques
- l'existence d'effets de cumul ou de synergie entre les polluants
- le caractère multifactoriel des cancers et
- des temps de latence importants entre l'exposition et l'apparition des effets. [14] et [6]

## **C. L'information de l'utilisateur : l'étiquetage**

Les dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses sont régies par la directive européenne 67/548/CEE.

Lorsqu'une autorisation de mise sur le marché est attribuée, qu'elle soit provisoire ou pour 10 ans, celle-ci est automatiquement assortie de deux catégories d'information obligatoirement présentes sur l'étiquetage :

Une information relative à l'efficacité du produit : les conditions d'emploi

Une information relative à la toxicité et à l'écotoxicité du produit : les symboles de risque et les conseils de prudence.

### **1. Les conditions d'emploi**

Le dossier d'homologation de la matière active ou du produit formulé doit déterminer les conditions d'utilisation du produit pour que le traitement soit efficace

-les usages homologués (exemple : traitement du mildiou sur la pomme de terre)

-la dose homologuée (exemple : 2kg/ha)

-la période de traitement (exemple : de février à avril)

-les délais d'attente avant récolte (exemple : 15 jours avant récolte)

### **2. Les symboles de risque, les phrases de risque et les conseils de prudence**

Le dossier d'homologation de la matière active ou du produit formulé doit aussi fixer le symbole de risque, les phrases de risque et les éventuels conseils de prudence pour avertir le consommateur des risques potentiels sur la santé et l'environnement.

On distingue cinq symboles de risques toxicologiques :

-**Xi** : Irritant

-**C** : Corrosif

-**Xn** : Nocif

-**T** : Toxique

-**T<sup>+</sup>** : Très toxique.

Et un symbole de risque écotoxicologique :

-**N** ; dangereux pour l'environnement.

A chaque symbole de risque, la loi demande d'associer des phrases de risque pour préciser la nature du risque encouru. Parfois, quelques conseils de prudence sont également associés. [38]

### III. LES EFFETS SUR LA SANTE

Comme pour toute pollution, l'impact sur la santé dépend

- de *l'intensité de l'exposition* (concentration du pesticide dans l'atmosphère respirée ou dans l'eau ou l'aliment ingéré),
- du *temps* pendant lequel la personne est exposée et
- de la "*sensibilité*" *personnelle* (antécédents, patrimoine génétique,...).

Il dépend aussi du type de pesticide, en particulier de sa classe chimique.

#### A. Les intoxications aiguës

Elles peuvent survenir :

- dans le cadre professionnel
- par ingestion accidentelle, en particulier chez les enfants : 550 appels au centre anti-poison de Lille ont été enregistrés en 1997 pour des intoxications avec les produits de jardinage et
- par suicide. [7]

Elles peuvent entraîner notamment :

- des troubles digestifs graves,
- des troubles respiratoires et
- des troubles neurologiques, avec une atteinte importante de l'état général.

Certains peuvent évoluer vers le coma et la mort.

#### B. Les effets toxiques ponctuels

On peut les observer dans la vie courante lors de la manipulation de pesticides ; ils sont peu spécifiques et généralement sans conséquences à long terme : maux de tête, nausées, irritation des voies respiratoires, des yeux, de la peau, démangeaisons...

De plus, ces observations sont rares et généralement le fait d'un mauvais usage du produit (surdosage, vaporisation, utilisation dans une pièce non ventilée...) et/ou d'une sensibilité particulière de la personne exposée (jeune enfant, personne présentant une pathologie respiratoire...). [7]

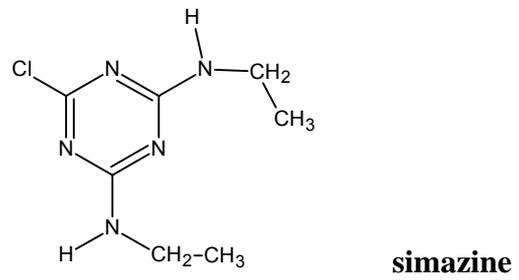
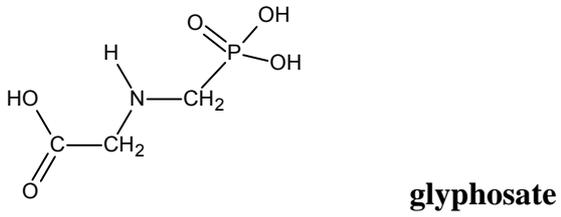
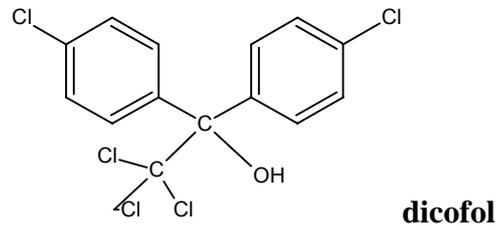
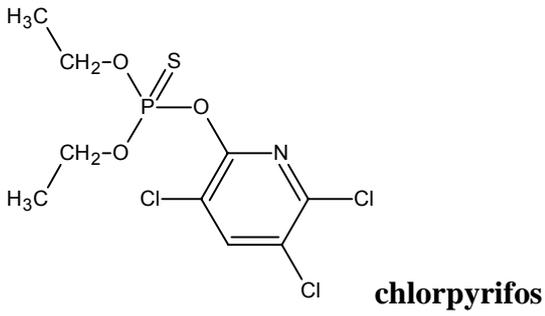
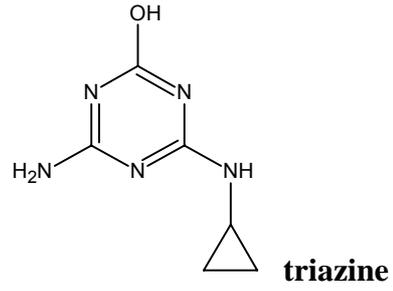
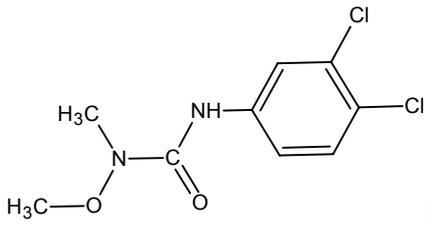
#### C. La toxicité chronique

##### 1. La perturbation endocrinienne

Les perturbateurs endocriniens sont des substances qui modifient les équilibres hormonaux en interférant avec les glandes endocrines (thyroïde, hypophyse, ovaire, pancréas, surrénales,...). Ils peuvent agir au niveau cellulaire à des doses très faibles et avoir un impact pathologique si ces doses faibles sont fréquemment renouvelées.

Parmi les substances suspectées d'être des perturbateurs endocriniens on trouve des pesticides tels que des organochlorés, des triazines, des pyréthrinés de synthèse, le linuron, le chlorpyrifos, le dicofol, le glyphosate. Cf. formules chimiques page suivante.

**Formules chimiques :**



A l'appui de cette suspicion des études inquiétantes, comme, par exemple, celle publiée dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Américaine en 2002, qui montre une démasculinisation des larves de grenouilles mâles exposées à des concentrations supérieures ou égales à 0,1 µg/l d'atrazine (valeur limite autorisée dans l'eau de boisson pour ce pesticide, avant que son usage ne soit interdit en 2003 et remplacé par les sulfonilurées. Source : article Ouest-France du 8 novembre 2002 : Les remplaçants de l'*atrazine* à l'essai.

La recherche sur la perturbation endocrinienne constitue une priorité du 5ème programme-cadre communautaire de recherche et développement ; l'Europe a mis en place une stratégie pour évaluer les risques, informer la population et, à terme, prendre les mesures réglementaires nécessaires; elle soutient aussi financièrement un programme et un réseau d'équipes de recherche sur ce problème. [9]

De même, aux USA, l'U.S.E.P.A a lancé un programme de recherche afin de déterminer le potentiel de perturbation hormonale des polluants environnementaux.

## **2. Les troubles de la reproduction**

Le fœtus peut être exposé par l'intermédiaire de la mère, comme en attestent plusieurs études qui ont mesuré des taux non négligeables de pesticides dans le sang maternel, les tissus ou le sang du cordon ombilical, le liquide amniotique, le placenta et même le méconium (la première selle du nourrisson).

D'autres études, épidémiologiques cette fois, rapportent une association significative entre l'exposition parentale à certains pesticides et des troubles de la reproduction tels que avortement spontané, enfant mort-né, malformations congénitales.

Dans la grande majorité de ces études :

-les parents étaient des utilisateurs professionnels de pesticides ou vivaient dans des zones d'utilisation intensive de pesticides, mais quelques études se rapportent à une utilisation domestique ;

-le parent exposé est la mère, cependant, certaines malformations peuvent être liés à une exposition du père.

Enfin, l'exposition à des pesticides pourrait entraîner une baisse de la fertilité, peut-être par le biais d'une perturbation endocrinienne (voir ci-dessus).[9]

## **3. La cancérogénicité**

La question de la cancérogénicité de certains pesticides chez l'Homme, en dehors des expositions professionnelles, est sujette à débat.

Les risques semblent concerner surtout les enfants.

Plusieurs études épidémiologiques semblent montrer une augmentation du risque de certains cancers chez l'enfant en relation avec une exposition aux pesticides de l'enfant lui-même, ou de la mère pendant la gestation, voire même suite à l'exposition parentale avant la conception.

Les types de cancer les plus souvent rapportés sont la leucémie, le lymphome non hodgkinien, le neuroblastome et les tumeurs cérébrales

Plus récemment une étude du CNRS de Roscoff a démontré que le Roundup® et plusieurs autres produits contenant du glyphosate induisaient une dérégulation du cycle cellulaire, ce qui pourrait être la marque d'une possible cancérogénicité.

Les auteurs concluent à un haut risque par inhalation pour les personnes à proximité d'une pulvérisation produisant des concentrations de 400 à 500 fois supérieures aux concentrations entraînant la dérégulation cellulaire in vitro. [7] et [12]

#### **4. Conclusion**

Toutes les études rapportées n'ont pas une méthodologie irréprochable, loin s'en faut, ne serait-ce que parce que l'évaluation de l'exposition aux pesticides est difficile.

Néanmoins, le nombre de celles mentionnant une augmentation du risque foetal et du risque de cancer chez l'enfant est suffisant pour interpeller et justifier l'application du principe de précaution, et ce d'autant plus que l'on ne sait rien de l'interaction entre les différents pesticides et donc rien non plus de leur toxicité conjointe lorsque plusieurs molécules différentes sont présentes dans le même aliment ou la même eau de boisson.

## **PARTIE II : ETUDE DE L'IMIDACLOPRIDE (GAUCHO®)**

### **I. INTRODUCTION**

L'imidaclopride ou Gaucho® est un insecticide utilisé pour protéger un certain nombre de cultures en tant que traitement de semences.

L'imidaclopride est destiné à être appliqué aux semences avant semis, ou sur les feuilles des plantes. Il diffuse dans le système vasculaire de la plante. Les insectes l'absorbent en suçant les fluides des plantes.

L'imidaclopride est un insecticide particulièrement toxique, d'une grande rapidité d'action, et persiste longtemps dans les cultures. Il était largement employé sur le tournesol, le riz, les légumes, le maïs et les céréales d'automne. Sa toxicité réside dans une surexcitation des récepteurs nicotiniques d'acétylcholine du système nerveux des insectes.

Les semences traitées aux insecticides sont préférées pour faire face à de nombreux parasites, car elles sont faciles d'utilisation, et les surcoûts liés au traitement sont comparables à la plupart des insecticides employés après le semis. Cette méthode serait aussi meilleure pour l'environnement car elle requiert moins de produit chimique comparativement aux méthodes de traitement par voie aérienne ou de traitement du sol, car moins de produit est diffusé dans l'air. Elle est aussi plus simple et plus sûre pour l'agriculteur.

Dans le cas des semences de céréales d'automne et en particulier de l'orge d'hiver ce sont les pucerons vecteurs de la jaunisse nanisante et la mouche grise qui sont visés, dans le cas du maïs, c'est la larve de taupin, dans le cas du tournesol, ce sont encore les pucerons.

### **II. LA CONTROVERSE DE L'IMIDACLOPRIDE**

L'utilisation de l'imidaclopride est controversée dans plusieurs pays, et notamment très controversée en France, où elle est considérée comme responsable potentielle d'une surmortalité des abeilles.

Selon l'Union Nationale des Apiculteurs, le nombre de ruches a diminué de 1,45 million en 1996 à 1 million en 2003. Entre 1995 et 2001, la production moyenne de miel s'est effondrée, de 75 à 30 kg par ruches. L'Afssa indique que la production nationale a quant à elle chuté de 40 000 tonnes à 25 000 par an.

Les apiculteurs français affirment que l'imidaclopride, en tant que traitement pour tournesol, a décimé les abeilles et causé un effondrement substantiel de la production de miel. Certains réclament que les insecticides employés systématiquement ne soient plus appliqués aux cultures dont dépendent les abeilles, tandis que d'autres appellent à une interdiction totale de la spécialité Gaucho®.

La Confédération paysanne, un syndicat agricole qui lutte depuis plusieurs années contre l'utilisation abusive des pesticides en agriculture, se mobilise depuis plusieurs années pour renforcer la législation de l'imidaclopride et limiter de manière plus large, l'utilisation des pesticides.

## **A. RAPPELS HISTORIQUES**

### **1. Premières observations**

L'imidaclopride a commencé à être employé en France en 1994 en tant qu'enrobage des semences de tournesols. Certains apiculteurs mentionnèrent dans les années qui suivirent le possible lien entre le pesticide et certains troubles du comportement chez les abeilles.

Bayer CropScience®, le laboratoire qui commercialise la spécialité Gaucho®, réalisa des études sur le sujet, dont les conclusions montraient que l'imidaclopride était inoffensif pour les abeilles. À ce stade, la plupart des discussions restèrent dans la plus grande confidentialité entre Bayer et les associations d'apiculteurs.

Toutefois, pendant l'été 1997, de véritables hécatombes chez les abeilles furent remarquées dans plusieurs régions de France, et la controverse devint publique.

### **2. 1998 : premières estimations de la toxicité**

Une étude officielle en France fut conduite en 1998 pour déterminer si l'imidaclopride était responsable de la baisse de la population apicole, et de la baisse de la production de miel durant la saison de floraison des tournesols.

Des études environnementales eurent pour but de définir les espèces animales en danger, les produits chimiques incriminés, et leur seuil de tolérance par ces mêmes espèces.

Dans le cas de l'accusation portée sur l'imidaclopride, les conséquences n'étaient pas la mort directe des abeilles, mais des troubles du comportement (désorientation, sous-nutrition, troubles de la communication). Les premières études visèrent à déterminer le seuil mortel pour les abeilles.

Cette étude conduite par l'Afssa (Agence française de la sécurité sanitaire des aliments) dans quatre régions différentes ne montra aucune différence en terme de changement de comportement des abeilles, de leur mortalité, de l'évolution des ruches et des récoltes de miel avec ou sans Gaucho.

Une étude dirigée par Wilhelm Drescher en 1998 à l'Université de Bonn, sur l'activité des abeilles dans les champs de tournesols dans la partie ouest de la France, conclut en l'absence de résultats pouvant démontrer un quelconque impact négatif sur les abeilles. Il fut aussi fait mention d'autres explications potentielles, comme une maladie virale causée par l'émergence en 1996 des larves de *varroa* résistantes aux acaricides. Cette étude statua que l'on ne pouvait attribuer les hécatombes d'abeilles en France à l'imidaclopride, mais plutôt à une maladie virale ou un parasite sanguin provoquant des symptômes similaires.

En parallèle, plusieurs études furent également conduites par Bayer CropScience pour évaluer les risques pour les abeilles de l'utilisation de l'imidaclopride sur les tournesols.

Bayer argua que les nombreuses études furent réalisées à ciel ouvert comme sous serre, en Argentine, Canada, Allemagne, France, Grande-Bretagne, Italie, Suède, Afrique du Sud, Hongrie et États-Unis, et que toutes confirmèrent que le Gaucho était inoffensif pour les abeilles.

Bayer ajouta que d'autres explications pouvaient être formulées pour expliquer la chute des effectifs apicoles. Ils indiquèrent ainsi que dans une étude menée en 1975 par Wilson, Menapace, une chute du nombre des abeilles avait été remarquée dans 27 états américains, la plupart des cas se produisant durant un été humide et frais. Les experts évoquèrent ainsi une maladie, des famines, un temps inhabituellement humide et frais, des diarrhées, une pénurie de pollen, la mort de reines, des défauts génétiques ou un stress.

Une autre étude conduite par Kulincevic en 1983 mentionna que les principales causes de malnutrition des abeilles s'expliquaient par une offre insuffisante en pollen. Il a été fait mention que des techniques modernes pourraient aider à pallier ce manque en offrant aux abeilles des substituts alimentaires, mais que certains d'entre eux peu polliniques comme le soja induiraient une mortalité accrue des abeilles.

### **3. France : L'imidaclopride banni comme traitement sur tournesol**

En 1999, Jean Glavany, ministre de l'Agriculture du gouvernement français, invoqua le principe de précaution et décida de proscrire l'usage de l'imidaclopride n tant que traitement des semences de tournesol en 1999. Les scientifiques de Bayer réfutèrent une nouvelle fois que le produit puisse être responsable de la mort des colonies apicoles lors d'une réunion en 2000.

En 2001, Jean Glavany reconduisit l'interdiction pour deux années supplémentaires et demanda à un panel d'experts de réaliser une étude épidémiologique complète afin de trouver les facteurs pouvant expliquer le déclin apicole. [37] et [38]

### **4. Deuxième série d'études en 1999 et 2000**

Fin 1998, des études indiquèrent l'absence d'effet, mais les doses furent indétectables en laboratoire.

Une deuxième batterie d'études fut lancée en 1999 pour définir :

- la toxicité du produit (l'imidaclopride) sur les abeilles ;
- la persistance du produit dans les sols ;
- les quantités dans les cultures ;

Les résultats de Bayer CropScience montrèrent que le seuil en deçà duquel aucun effet n'avait été observé était de 20 ppb, tandis que les quantités résiduelles relevées dans les parties disponibles aux insectes (parties aériennes) étaient en deçà de 1,5 ppb. Ainsi ils conclurent que les abeilles n'auraient en aucun cas pu être en contact avec des concentrations suffisamment élevées pour être affectées par les pesticides, et que le traitement des semences de tournesols était sans risque pour les abeilles.

La Commission des toxiques parvint en 2001 à ces conclusions :

- l'imidaclopride répond aux exigences de la législation européenne en termes de persistance dans les sols, et ne s'y accumule pas ;
- des résidus peuvent être trouvés dans les plants ayant été cultivés à partir d'autres plants de tournesols dont les semences ont été traitées au Gaucho. Ces résidus ont été uniquement détectés dans des parties non exposées aux abeilles, telles les feuilles. Aucun résidu n'a pu être trouvé dans le pollen des plants de tournesol non traités.

La commission conclut qu'il n'y avait aucune indication substantielle suggérant un danger potentiel de l'imidaclopride sur les abeilles. Toutefois, la commission objecta que le pollen des semences de maïs traitées pouvait comporter un risque. Gérard Eyries, directeur du marketing pour la division agricole de Bayer France®, fut notamment cité, en disant que les études confirmaient le fait que l'insecticide laissait un faible résidu d'imidaclopride dans le nectar et le pollen, mais qu'il n'y

avait aucune preuve sur le lien avec la chute mortifère de la population apicole en France, et ajouta : « Il est impossible qu'il n'y ait aucun résidu. Ce qui compte, c'est de savoir si les minuscules quantités détectées ont un effet négatif sur les abeilles ». Il ajouta également que le produit était vendu dans 70 pays sans qu'aucun effet indésirable n'ait jamais été découvert. [38]

D'autres études indiquèrent que les concentrations étaient particulièrement élevées lorsque la plante est jeune. On a relevé en général :

- 10 à 20 ppb dans les feuilles supérieures ;
- 100 à 200 ppb dans les autres feuilles ;
- des quantités inférieures à 1,5 ppb dans le nectar ;
- 2 à 3 ppb dans le pollen.

Le laboratoire Bayer® concéda alors que l'insecticide pouvait causer une désorientation des abeilles à des niveaux de concentration du principe actif supérieurs à 20 ppb. Des études récentes conduites par les chercheurs de l'INRA suggèrent que le comportement des abeilles pourrait être affecté à des niveaux compris entre 3 et 16 ppb, voire 0,5 ppb.

En 2003, le ministre de l'Agriculture prolongea à nouveau de 3 ans la suspension portant sur l'utilisation du Gaucho pour les semences de tournesol.

Cf. : Annexe n°1 Calendrier des évènements concernant le Gaucho

## **5. Résultats des suspensions en France**

Malgré les quatre années d'interdiction du traitement des semences de tournesol, une baisse significative des effectifs apicoles continue à être observée. Les apiculteurs affirment que la mesure a été insuffisante, étant donné que des études ont prouvé que l'imidaclopride laissait des résidus dans le sol, et que même deux ans après, des plantes mises en terre aux mêmes endroits que les cultures originellement traitées comportaient des traces du produit.

Certains suggèrent également que les pertes dans les colonies d'abeilles pourraient être dues à l'utilisation de l'imidaclopride sur le maïs, ou par le remplacement de ce dernier par un autre insecticide systématique appelé Fipronil. De ce fait, la Direction Générale de l'Alimentation du ministère de l'Agriculture indiqua en mai 2003 que les décès d'abeilles observés dans le Sud de la France ont été causés par la toxicité accrue du Fipronil, employé comme principe actif pour l'insecticide systématique Régent TS du groupe BASF Agro, alors que la responsabilité du Gaucho était dégagee.

## **Annexe n°1 : Calendrier des évènements concernant le Gaucho**

**1991** : Première autorisation de mise sur le marché du Gaucho® , homologué pour différentes cultures comme la betterave, le maïs, et le tournesol

**1993** : début de l'utilisation du Gaucho sur les semences de tournesol

**24 octobre 1997** : Première réunion d'information organisée par l'ACTA (Association de Coordination Technique Agricole) rassemble les représentants des syndicats agricoles et apicoles, des Ministères de l'Agriculture et de la Pêche (MAP) et de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE), de la Société Bayer et plusieurs scientifiques

**11-12 décembre 1997** : séances du Comité d'Homologation du MAP

**19 décembre 1997** : Réunion de travail suivante, par le Ministre chargé de l'Agriculture, avec les représentants des apiculteurs, de la FNSEA, de la DGAL (Direction Générale de l'Alimentation), de la DPE (Direction de la Production et des Echanges) et de l'ONIFLHOR (office national interprofessionnel des fruits, des légumes et de l'horticulture)

**26 janvier 1998** : une réunion organisée à l'initiative de la DGAL, pose les bases d'un programme de recherche à l'échelle nationale. Un Comité de Pilotage est constitué, avec des scientifiques, des représentants de la production agricole, d'apiculteurs, d'instituts techniques, des Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement, et de la Société Bayer.

**15 octobre 1998** : présentation des résultats préliminaires du programme devant la Commission d'Evaluation de l'Ecotoxicité des Substances Chimiques du Ministère de l'Aménagement du Territoire.

**16 décembre 1998** : présentation du rapport du programme de 1998 devant la Commission des toxiques. La Commission conclut que : *“ Les risques ne paraissent pas suffisants pour interdire l'utilisation de l'imidaclopride. Dans l'attente des études complémentaires demandées, doivent être reconduites les zones d'interdiction provisoire d'emploi instaurées en 1998.”*

**15 janvier 1999** : Jean Glavany, Ministre de l'Agriculture et de la Pêche, décide de retirer de façon provisoire l'autorisation de mise sur le marché du Gaucho pour son usage en traitement de semences de tournesol et demande une enquête épidémiologique complémentaire pour déterminer si d'autres facteurs pourraient être responsables ou co-responsables des phénomènes observés sur les abeilles.

**28 juin 1999** : Réunion de présentation des différents projets. (INRA, CNRS, AFSSA) et d'autres analyses indépendantes, comme celle du CETIOM (Centre d'Etudes Techniques des Oléagineux Métropolitains). La DGAL lance une enquête d'épidémiologie-surveillance des populations d'abeilles.

**25 novembre 1999** : les premiers résultats de l'enquête d'épidémiologie-surveillance de la DGAL qui ne détectent pas de problème, sont contestés par les apiculteurs en raison des insuffisances des services de surveillance.

**octobre 2000** : la DGAL demande que les rapports de synthèse soient dûment accompagnés d'informations sur les protocoles précis de préparations des sirops utilisés dans les différentes manipulations, et que les résultats d'analyse des sirops utilisés (teneur exactes en imidaclopride et en métabolites) soient détaillés

**25 octobre 2000** : manifestations d'apiculteurs, en particulier celle devant l'usine Bayer de Cormery.

**15 novembre 2000** : la commission des toxiques auditionne les représentants du CETIOM, de Bayer, et les chercheurs financés dans le cadre du Règlement Européen pour l'Apiculture.

**13 décembre 2000** : audition des représentants des apiculteurs

**18 décembre 2000** : avis de la commission des toxiques

*La Commission des Toxiques rend cet avis :*

Rémanence dans les sols

*L'imidaclopride est rémanent dans les sols, mais il répond aux normes de l'homologation européenne et ne s'accumule pas dans les sols.*

*Des résidus peuvent être retrouvés dans les plantes de tournesol cultivées sur un précédent sol traité au Gaucho, mais uniquement dans les parties des plantes auxquelles les abeilles ne sont pas exposées (tiges, feuilles, rarement fleurs). Aucun résidu d'imidaclopride n'a pu être détecté dans le pollen de cultures de tournesol non traité.*

*Au vu de ces résultats, la Commission estime "qu'elle ne dispose pas d'indices sérieux montrant l'existence de risques pour les abeilles liés aux cultures suivantes."*

Cas du maïs

*La Commission souhaite s'interroger en priorité sur le rôle du pollen de maïs dans l'alimentation des abeilles.*

*Elle suggère la réalisation de travaux complémentaires pour évaluer l'importance du pollen, en dehors de la problématique Gaucho.*

*Aucune étude complémentaire n'est demandée sur le Gaucho maïs.*

Enquête multifactorielle

*La DGAL est sur le point de finaliser une série de propositions pour la conduite de cette enquête.*

**11 janvier 2001** : avis du comité d'homologation des produits antiparasitaires qui propose une prorogation de la suspension d'utilisation du Gaucho (imidaclopride) en traitement de semences sur tournesol.

**2 février 2001** : J. Glavany reconduit la suspension d'utilisation de l'imidaclopride dans les semences de tournesol jusqu'en 2003.

**2003** : le ministre de l'Agriculture prolongea à nouveau de 3 ans la suspension portant sur l'utilisation du Gaucho pour les semences de tournesol. Hervé Gaymard a décidé de suspendre l'usage de l'insecticide Gaucho® (imidaclopride) pour le traitement des semences de maïs jusqu'à la réévaluation de cette substance par la Commission européenne en 2006).

**Décembre 2004-** Résultat de l'étude Multifactorielle des Troubles des Abeilles (CST) Imidaclopride utilisé en enrobage de semences - Rapport final - 106 pages

**Juillet 2004** - Interdiction du Gaucho® pour les cultures de maïs par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche à la demande de l'UNAF (Union Nationale de l'Apiculture de France)

**Avril 2006**- Le conseil d'Etat rejette les recours de la société Bayer Cropscience® (recours visant à obtenir l'annulation du retrait du pesticide Gaucho® sur les semences de maïs). [37]

## **B. ETUDE DE L'IMIDACLOPRIDE UTILISE EN ENROBAGE DES SEMENCES ET TROUBLES DES ABEILLES**

### **1. Introduction**

Le Ministre de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales décidait en janvier 1999 puis en février 2001 d'appliquer le principe de précaution pour répondre aux alarmes des apiculteurs face aux affaiblissements massifs des ruchers français, en suspendant l'utilisation de l'imidaclopride pour les traitements des semences de tournesol. Parmi les mesures d'accompagnement, le Ministre décidait la création d'un Comité Scientifique et Technique (**C.T.S**) chargé de piloter une étude multifactorielle des troubles des abeilles. Ce comité s'est mis en place sous la présidence conjointe des professeurs Marzin et Rault en juin 2001 et a réellement commencé ses travaux en octobre 2001.

Face à la tâche assez considérable, et compte tenu des très grandes divergences d'opinions sur la question, les experts ont défini parmi les orientations prioritaires celle de conduire un grand inventaire des connaissances scientifiques et techniques relatives à plusieurs aspects du problème :

1. À propos de l'imidaclopride, dans ses aspects toxiques, écotoxiques, métaboliques, etc.,
2. A propos des troubles des abeilles réellement observés (intoxications, viroses, parasitoses, etc.),
3. A propos du devenir des substances d'enrobage au cours de la croissance, et de la floraison des plantes (en particulier dans le nectar et le pollen), ainsi que dans les sols,
4. A propos des modifications génétiques apportées au tournesol, et en particulier dans son mode de pollinisation,
5. A propos des réelles données économiques concernant la baisse ou non des miellées dans la France entière.

Nous nous attacherons principalement à étudier ce qui au départ a conduit à la décision ministérielle, c'est à dire l'éventuel rôle de l'imidaclopride dans les troubles observés antérieurement. Il va de soi que cette approche centrée sur le phénomène de départ sera élargie à d'autres facteurs, c'est-à-dire d'autres produits phytosanitaires, la combinaison des effets de ceux-ci avec des pathologies, des pratiques apicoles particulières, des mauvais usages agricoles, etc.

L'exposé qui suit résume l'étude menée par le C.T.S.

### **2. L'imidaclopride et ses métabolites : présentation**

Le travail de bibliographie s'est appuyé sur les documents réunis par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales ainsi que sur les documents recherchés dans la littérature scientifique.

#### **a) Caractéristiques physico-chimiques**

Les principales caractéristiques de l'imidaclopride sont reprises ci dessous d'après les informations Agritox (<http://www.inra.fr/agritox/fiches/867bayer.html>). Nous rappelons qu'AGRITOX est une base de données sur les propriétés physico-chimiques, la toxicité, l'écotoxicité, le devenir dans l'environnement, les données réglementaires des substances actives phytopharmaceutiques autorisées en France.

## ➤ Identité

Substance active : imidaclopride,

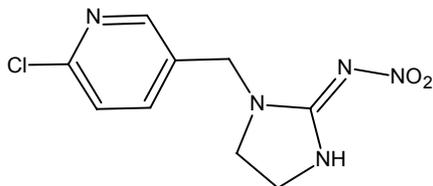
Activité(s) biologique(s) principale(s) : insecticide

Famille chimique : nitromethylene ; Dénominations : imidaclopride

Noms chimiques : 1H-IMIDAZOL-2-AMINE, 1-[(6-CHLORO-3-PYRIDINYL)METHYL]-4,5-DIHYDRO-N-NITRO-

Formule brute : C<sub>9</sub> H<sub>10</sub> Cl N<sub>5</sub> O<sub>2</sub>

Formule développée :



Poids moléculaire: 255.66

Principaux métabolites : 5-hydroxyimidaclopride, 4-hydroxyimidaclopride, 4-5-hydroxyimidaclopride, oléfine, dérivé guanidine, dérivée urée, et acide 6 chloronicotinique.

## ➤ Propriétés physiques et chimiques

Etat physique : solide cristallisé

Tension de vapeur : 0,2 μPa à 20°C

Solubilité dans l'eau : 0,58 g/l à 20°C

Log P = 0,57 (21°C)

Stabilité dans l'eau : temps de demi-vie : 355 jour(s) au pH de 9 ; très stable au pH de 5 à 7 ; instable au pH de 10 à 14.

## ➤ Comportement dans l'environnement

Persistence en plein champ : DT50 (en jours) : min : 79 ; max : 196

Photodégradation dans le sol DT50 (en jours) : 171, source de lumière : naturelle ;

type sol : inconnu, localisation : pays non connu, sol choisi par la firme

Adsorption et désorption (Koc et Kd) : Koc – min : 132 ; Koc max : 256

Valeurs réglementaires

Classement toxicologique : **Xn R22** (Décision de la Commission des Toxiques le 18/11/92) Nocif (Xn) ; R22 nocif en cas d'ingestion.

### b) Données d'exposition

Face au problème d'une éventuelle intoxication des abeilles par l'imidaclopride, il est nécessaire de déterminer les quantités de cette molécule auxquelles elles pourraient être exposées principalement par l'intermédiaire des pollens de tournesol, de maïs et du nectar de tournesol. Il convient ensuite d'évaluer les risques encourus.

➤ **Dosage dans le pollen**

La validation des données permet de conclure que les niveaux de résidus d'imidaclopride contenus dans les pollens de fleurs de tournesol dont les semences ont été traitées Gaucho se situent en moyenne à 3,3 ppb, ceux contenus dans les pollens de trappes de ruches sur zone tournesol sont en moyenne de 2,2 ppb. En ce qui concerne les dosages dans le pollen de maïs, les données validées montrent des teneurs moyennes en imidaclopride de 0,75 et 3,5 ppb pour les pollens de fleurs et de trappe respectivement. Compte tenu des modifications d'activité de la colonie que peuvent entraîner la pose de trappe à pollen, seuls les dosages d'imidaclopride obtenus à partir de pollen fleurs sont retenus comme représentatifs des quantités d'imidaclopride rentrant dans la colonie. La valeur de 3,3 ppb est donc retenue pour les scénarios d'exposition et l'évaluation des risques liés à l'utilisation de l'imidaclopride en enrobage de semences tournesol, celle de 3,5 ppb est retenue pour les risques liés à l'utilisation d'imidaclopride en enrobage de semences maïs.

➤ **Dosage dans le nectar**

L'analyse des rapports d'études ne valide qu'une seule étude qui permet d'indiquer que le niveau de résidus contenus dans le nectar de tournesol dont les semences ont été traitées Gaucho® se situe à 1,9 ppb. Les autres études ne répondent pas aux critères de validation (méthode peu spécifique, limite de quantification élevée ou nombre d'échantillons faible).

➤ **Dosage dans le sol et rémanence**

L'imidaclopride est décelé dans les sols ayant été le support de cultures de Tournesol traité Gaucho® l'année du prélèvement à des teneurs moyenne de 10,25 ppb. L'année suivant le traitement, les quantités d'imidaclopride diminuent et sont en moyenne de 4,4 ppb. Il n'est cependant pas possible de conclure au-delà d'une année en raison d'un mauvais suivi de l'échantillonnage.

➤ **Devenir de l'imidaclopride dans la plante**

L'analyse des rapports d'études ne valide partiellement qu'une seule étude en raison d'un mauvais suivi de l'échantillonnage. A titre indicatif, une teneur moyenne de 4,6 ppb d'imidaclopride dans un Tournesol traité Gaucho l'année du prélèvement a été calculée en regroupant les différents échantillons de feuilles, tiges, capitules. Il n'a pas été possible de conclure lorsque les sols ont reçu des plantes traitées Gaucho l'année précédente. En ce qui concerne le maïs traité Gaucho, les teneurs en imidaclopride dans les différentes parties végétales sont de 3,7, 3 et 7,5 dans les feuilles et tiges confondues, les parties mâles et les panicules respectivement.

➤ **Evaluation des quantités de pollen et de nectar éventuellement contaminées et ramenées à la ruche**

Dans cette partie, nous avons d'abord évalué les quantités théoriques totales d'imidaclopride ramenées à la ruche dans le pollen et le nectar contaminés. Pour le pollen de tournesol ramené annuellement à la colonie, ces quantités pourraient

varier entre 0,84 µg et 50µg. Pour le nectar de tournesol, la seule étude validée, nous permet d'estimer une quantité variant de 133 µg à 266 µg. L'imidaclopride peut être également ramené à la colonie par le pollen de maïs en quantités variables : de 0,04 à 66 µg.

Pour les autres « produits de la ruche », nous ne disposons à l'heure actuelle d'aucune donnée concernant les dosages de résidus d'imidaclopride dans la gelée royale, la bouillie larvaire, le pain d'abeille, la cire etc...

### c) Données de toxicité

Cette partie est consacrée à l'analyse des effets de l'imidaclopride sur les abeilles avec l'étude des résultats issus des essais de toxicités aiguë, chronique et sublétales.

**Définitions** des abréviations utilisées ci-après :

- **DL50**: dose létale 50 : dose induisant la mortalité de 50% des individus intoxiqués
- **LC 50**: concentration létale 50 : concentration induisant la mortalité de 50% des individus intoxiqués
- **LOEC**: concentration la plus faible d'une substance conduisant à un effet
- **NOEC**: concentration la plus forte d'une substance qui ne conduit pas à un effet
- **PEC**: Concentration prédite d'une substance à laquelle l'environnement va être soumis
- **PNEC**: Concentration prédite d'une substance à laquelle l'environnement va être soumis et prévue sans effet sur les organismes de l'environnement
- **Ppb** : partie per billion : unité de mesure correspondant, dans notre rapport, à des concentrations en µg/kg
- **Etudes Validés** : les études ont été validées par les membres du CST selon les recommandations du "*Technical Guidance Documents*" à savoir la qualité de l'étude en relation avec la méthodologie, la cohérence des résultats. Les données ont été analysées en respectant la manière dont a été conduite l'étude et interprété les résultats.
- **LD**: Limite de détection : valeur en dessous de laquelle on ne détecte plus le composé
- **LQ**: Limite de quantification : valeur en dessous de laquelle on ne dose plus le composé

## Effets létaux de l'imidaclopride et de ses dérivés sur les abeilles

### ➤ Mortalité suite à une intoxication par une seule administration de substance active

Les résultats présentés en toxicité aiguë par voie orale pour l'imidaclopride proviennent de protocoles expérimentaux standardisés et donnent des résultats convergents avec des DL50 allant de 4 ng à 71 ng d'imidaclopride par abeille. En ce qui concerne les résultats de la toxicité aiguë par voie topique, on obtient des valeurs de DL50 allant de 6,7ng à 242 ng d'imidaclopride par abeille.

L'oléfine et l'hydroxyimidaclopride, métabolites de l'imidaclopride, présentent également une toxicité en administration par voie orale. L'oléfine présente une

DL50 variant de 28 à >35,7 ng de substance active/abeille, l'hydroxyimidaclopride, une DL50 de 153 à 258 ng de substance active/abeille.

Les autres métabolites (acide 6-chloronicotinique, dihydroxyimidaclopride, dérivés urée et guanidine) ne présentent pas de toxicité particulière (DL50>1000 ng/substance active/abeille)

➤ **Mortalité suite à une intoxication chronique (administration répétée de la substance active)**

Les études portant sur la toxicité chronique de l'imidaclopride et ses métabolites montrent des résultats divergents en partie dus à une grande hétérogénéité des protocoles rendant les études peu comparables entre elles et difficiles à valider. Seules 2 études d'intoxication par administration répétée d'imidaclopride par voie orale ont été validées. L'une conduit à une DL50 de 12 pg/abeille sur 10 jours (Suchail, 2001), l'autre à une NOEC de 1700 pg/abeille/10 jours (Decourtye, 2000). Les études portant sur l'intoxication chronique par voie orale par les métabolites de l'imidaclopride donnent également des résultats divergents avec une DL50 à 12 pg/abeille sur 10 jours pour tous les métabolites ou une NOEC entre 2740 et 8000 pg/abeille sur 10 jours pour le dérivé urée et l'acide 6-chloronicotinique.

### **Effets sublétaux de l'imidaclopride et de ses dérivés sur les abeilles**

De nombreuses études se sont intéressées aux effets sublétaux. Elles sont très diverses et hétérogènes. Elles ont étudiés les effets sublétaux en laboratoire, en cages de vol et sous tunnel ou en plein champ.

En laboratoire, les données de toxicité orale aiguë validées montrent une NOEC de 940 pg d'imidaclopride/abeille pour la coordination motrice et l'effet knockdown (paralysie des insectes). Lors d'une intoxication par administration orale répétée d'imidaclopride, la NOEC est de 200 pg d'imidaclopride/abeille sur 10 jours pour le réflexe d'extension du proboscis (trompe). Pour les données d'intoxication aiguë par voie topique, on obtient une LOEC de 100pg d'imidaclopride/abeille, aucune donnée d'intoxication par administration répétée d'imidaclopride par voie topique n'a été validée.

L'administration des métabolites de l'imidaclopride en une seule fois par voie orale conduit à des NOEC supérieures, de 1200 à 7000 pg de substance active/abeille. Les études validées en cages de vol et sous tunnels donnent, suite à des intoxications par administrations répétées de substances actives par voie orale, des LOEC de 75 pg d'imidaclopride/abeille et hydroxyimidaclopride/abeille et de 20 pg d'oléfine/abeilles pour les effets « fréquentation du nourrisseur et durée de la prise alimentaire ».

Lorsque l'imidaclopride ou l'oléfine sont disposés dans un nourrisseur en plein champs, les résultats d'intoxication par ingestion répétée de substance active montrent des NOEC de 250 ng d'imidaclopride/abeille pour tous les items comportementaux observés et une NOEC de 250 ng d'oléfine/abeille pour les danses tremblantes.

### 3. Evaluation des risques

L'évaluation des risques consiste à comparer une **concentration prédite d'exposition**, communément appelée "**PEC**" (*Predicted Environmental Concentration*) à une **concentration prévue sans effets** pour les organismes de l'environnement, encore appelée "**PNEC**" (*Predicted No Effect Concentration*). **Un risque est alors mis en évidence quand la valeur estimée de la PEC est supérieure à celle de la PNEC.**

L'évaluation des risques pour les abeilles liés à l'utilisation de l'imidaclopride en enrobage de semences a été réalisée selon l'approche « substances chimiques nouvelles et existantes », développée dans le cadre de la réglementation des substances chimiques nouvelles et existantes (Directive 67/548). L'approche phytosanitaire, développée dans le cadre de la réglementation des produits phytosanitaires (Directive 91/414), ne peut s'appliquer dans le cas d'enrobage de semences puisqu'elle est basée sur la notion de doses à l'hectare qui n'a pas de sens réel dans notre cas.

#### a) Evaluation de l'exposition : PEC

La quantité d'imidaclopride susceptible d'entrer dans une colonie est très variable et dépend des types et de la surface des cultures traitées présentes dans son environnement, ainsi que des choix de butinage des ouvrières quant au pollen et/ou nectar récoltés.

Plusieurs modes d'intoxication des abeilles sont envisageables, en fonction de :

- la nourriture récoltée (pollen et / ou nectar) et utilisée (pollen, nectar et / ou miel) par les abeilles,
- la catégorie d'abeille qui manipule et utilise cette nourriture : les larves, les abeilles d'intérieur de moins de 3 semaines (nourrices par exemple) et les abeilles d'extérieur de plus de 3 semaines (butineuses),
- la saison (printemps, été, automne et hiver).

Les auteurs de l'étude ont établi une série d'hypothèses et ont ainsi proposé cinq scénarios d'intoxication. Ces scénarios correspondent aux différents modes d'intoxication possibles (intoxication orale ou topique) des différents stades de la vie de l'abeille (larves, nourrices, butineuses) par le pollen (scénarios 1, 2, 3), le nectar ou le miel (scénarios 3, 4 et 5), soit à la suite d'une consommation immédiate, soit à la suite d'une consommation différée.

- **Scénario n°1 : Les larves sont nourries par les nourrices d'un mélange de pollen, miel et sécrétions des glandes hypopharyngiennes et mandibulaires appelé « pain d'abeilles »**

La composition en sucres dans la bouillie larvaire varie en fonction de l'âge de la larve, de 18% (ouvrière de moins de 4 jours) et 44% (ouvrière de plus de 4 jours). En considérant que ce sucre provient exclusivement du miel de réserve stocké pendant l'hiver et sachant que le miel est obtenu par évaporation de 60% d'eau du nectar, on peut estimer que le sucre proviendra de la transformation de 3 mg de nectar pour les larves de moins de 4 jours et de 46 mg de nectar pour les larves de

plus de 4 jours. Le niveau d'intoxication de la larve sera donc fonction de son âge et du pourcentage de contamination du nectar de tournesol qu'elle ingère.  
 Résultats de l'expérience : tableau n°1

**Tableau n°1 :**

Quantités théoriques d'imidaclopride absorbées par les larves de moins et de plus de 4 jours qui consomment respectivement 3 et 46 mg de nectar de tournesol ou équivalent contaminé (Concentration d'imidaclopride contenu dans le nectar de tournesol = 1,9 (µg/kg ou ppb))

		Quantité d'imidaclopride absorbée (pg)	
		Ouvrière < 4jours (3 mg)	Ouvrière > 4jours (46 mg)
Pourcentage de nectar de tournesol contaminé à l'imidaclopride	100%	5,7	87
	80%	4,5	70
	60%	3,4	52
	40%	2,3	35
	20%	1,1	17

○ **Scénario n°2 : Les nourrices consomment pendant 10 jours du pollen de contaminé dans la ruche**

Les abeilles âgées de 1 à 10 jours, ont besoin de pollen pour le développement de leurs glandes hypopharyngiennes et de leurs corps adipeux (Maurizio 1954, A156). Une jeune ouvrière adulte consomme environ 60 mg de pollen au total pendant les 10 premiers jours de sa vie. Si le pollen consommé est contaminé, l'abeille risque de s'intoxiquer. Sur cette base, et sur la base des teneurs en imidaclopride dans les pollens de fleurs et de panicules, les quantités d'imidaclopride consommées par ces abeilles ont été estimées en considérant un régime correspondant à un mélange comportant du pollen contaminé et du pollen non contaminé en différentes proportions (20, 40, 60 et 80 et 100%). A noter que l'hypothèse de 100 % s'applique dans le cas où l'ouvrière ne consomme que du pollen contaminé ; ce qui est probablement assez rare sur le territoire national.  
 Résultats des expériences : tableau n° 2 (pollen de tournesol)

**Tableau n°2 :**

Quantités théoriques d'imidaclopride absorbées par les nourrices qui consomment pendant 10 jours du pollen de tournesol contaminé (60 mg) dans la ruche  
(Concentration d'imidaclopride contenu dans le pollen de fleurs de tournesol=3.35 µg/kg ou ppb)

Pourcentage de pollen de tournesol contaminé par l'imidaclopride	Quantité d'imidaclopride absorbée par les abeilles au bout de 10 jours de consommation (pg)	
	90%	181
80%	161	
60%	121	
40%	80	
20%	40	

○ **Scénario n°3 : les butineuses de pollen**

En estimant arbitrairement à 1% la proportion de pollen ingéré par les butineuses de pollen lors de la confection de pelotes, la quantité d'imidaclopride ingéré varie entre 3,3 et 15 pg par abeille pour du pollen de tournesol et entre 3,5 et 16pg pour le pollen de maïs. En raison de la fidélité florale des abeilles, le pourcentage de pollen contaminé ingéré sera de 0 ou 100% selon le traitement du champ (non Gaucho® ou Gaucho®).

Après mesures, la quantité d'imidaclopride à laquelle est exposée une abeille qui ingère 1 à 4,5 mg de pollen sous forme de pelote se situe donc entre 3,5 et 16 pg. Ces butineuses pourront également s'intoxiquer en consommant du miel pour stocker l'énergie nécessaire à leur vol (scénario 4).

○ **Scénario n°4 : les butineuses de nectar de tournesol**

Avant de partir sur sa zone de butinage, l'abeille accumule de l'énergie en consommant du nectar ou du miel stocké dans la colonie. Si le nectar consommé est contaminé, l'abeille risque de s'intoxiquer. Le taux de contamination du nectar dépendra du paysage cultural environnant la ruche (présence ou non de champs de tournesol traité ou non Gaucho®).

Si la zone du butinage est éloignée, l'abeille peut consommer une partie du nectar qu'elle vient de récolter pour son vol retour.

Si la zone de butinage est constituée de champs traités Gaucho®, en raison de sa fidélité florale, l'abeille s'intoxiquera avec 100% de nectar contaminé pour son vol retour. Si les champs ne sont pas traités, la contamination sera de 0%. Cependant, si l'on considère l'ensemble des butineuses de la ruche, on pourra trouver des taux intermédiaires de contamination selon le paysage cultural autour de la ruche. En

effet, les abeilles spécialisées dans la récolte de nectar de tournesol pourront ou non s'intoxiquer selon le traitement des champs, d'autres abeilles spécialisées dans la récolte de nectar d'autres espèces florales ne consommeront pas d'imidaclopride lors de leur vol retour.

Quel que soit le trajet effectué (vol aller ou retour) le niveau d'intoxication de l'ensemble des butineuses sera donc fonction du paysage culturel entourant la ruche et déterminant la proportion de nectar contaminé que l'abeille ingère.

Ce scénario qui envisage la consommation d'une abeille au cours de quelques heures se rapproche du cas d'une **intoxication aiguë**. Si l'abeille ne meurt pas durant cette période et continue à butiner pendant les jours suivants, ce scénario se rapproche du cas d'une **intoxication chronique**.

En résumé, la quantité d'imidaclopride dépend du pourcentage de nectar de tournesol contaminé que la butineuse ingère pour fournir l'énergie nécessaire au vol, et de la concentration d'imidaclopride dans ce nectar de tournesol. En estimant à 12 heures, le temps moyen de butinage quotidien, la butineuse de nectar ingère entre 131 pg et 655 pg d'imidaclopride par abeille.

Résultats des expériences : tableau n° 4

**Tableau n°4 :**

Quantités théoriques d'imidaclopride contenues dans 345 mg de nectar de tournesol consommé par les butineuses pour 12 heures d'activité de butinage quotidienne (Concentrations d'imidaclopride contenues dans le nectar de tournesol =1,9(µg/kg ou ppb))

Pourcentage de nectar de tournesol contaminé par l'imidaclopride	Quantité d'imidaclopride absorbée par les butineuses au cours de 12 heures (pg)	
	100%	655
	80%	524
	60%	393
	40%	262
	20%	131

○ **Scénario n°5 : thermorégulation par les abeilles d'intérieur par consommation du miel de réserve**

Le nectar et le miel stockés dans la ruche seront consommés par les abeilles, généralement âgées de moins de 3 semaines pour combler leurs dépenses énergétiques qui sont fonction de l'activité (thermorégulation, nettoyage des cellules, nourrissage du couvain (cas déjà traité), récolte et emmagasinage du nectar et du pollen). Si ce nectar et ce miel sont contaminés, les abeilles pourront, éventuellement, s'intoxiquer.

En supposant une stabilité totale de l'imidaclopride lors de la transformation du nectar en miel, la quantité d'imidaclopride absorbée par les abeilles dépend du pourcentage de miel contaminé qu'elle ingère et de la concentration d'imidaclopride dans ce miel. En partant d'une consommation de 0,2 à 0,8 g de miel par abeille pour maintenir une température de 15°C au centre de la ruche et

de 5°C à la périphérie, la quantité d'imidaclopride ingérée par abeille varie entre 190 et 3800 pg selon le pourcentage de nectar de tournesol contaminé ayant servi à la production du miel.

Résultats des expériences : tableau n°5

**Tableau n°5 :**

Quantité théorique d'imidaclopride absorbée par les abeilles adultes pour assurer le maintien de la température au cours de la période hivernale (mi-octobre-fin mars)  
(Concentrations d'imidaclopride contenu dans le nectar ou équivalent = 1,9 (µg/kg ou ppb))

Pourcentage de nectar de tournesol contaminé par l'imidaclopride		Quantités d'imidaclopride absorbés par les adultes (pg)			
		Quantité de nectar absorbée (g)			
		0,5	1	1,5	2
100%	950	1900	2850	3800	
80%	760	1520	2280	3040	
60%	570	1140	1710	2280	
40%	380	760	1140	1520	
20%	190	380	570	760	

## b) Evaluation des effets

### ➤ Méthodologie

**Dans le cas des substances chimiques nouvelles et existantes**, les dangers sont abordés au travers d'une concentration prévisible sans effet (PNEC) pour les écosystèmes, c'est-à-dire pour l'ensemble des espèces des écosystèmes terrestres ou aquatiques. Cette valeur est habituellement obtenue en appliquant un facteur d'incertitude aux données issues d'essais réalisés en laboratoire, (selon les principes énoncés dans le *Technical Guidance Document* relatif à l'évaluation des risques des produits chimiques). Le calcul de la PNEC consiste à diviser la plus basse de L(E)C50 (Lethal (efficient) Concentration50) ou NOEC (No Observed Effect Concentration) par un facteur d'incertitude. Ces facteurs ont été établis pour représenter les incertitudes suivantes :

- la variation intra- et inter- laboratoires des données de toxicité, la variation intra- et interspécifiques,
- l'extrapolation des données de toxicité court terme au long terme,
- l'extrapolation du laboratoire au plein champ.

La valeur du facteur d'incertitude dépend de la nature et du nombre de données disponibles. Ainsi ce facteur diminuera lorsque des données seront disponibles sur des organismes représentant plusieurs niveaux trophiques, plusieurs groupes taxonomiques ou lorsque des données de toxicité chronique seront disponibles.

Afin d'illustrer ce propos, les facteurs d'incertitude habituellement utilisés pour déterminer la PNEC pour l'environnement terrestre sont rapportés à titre indicatif dans le Tableau n°6

**Tableau n°6 : Facteurs d'incertitude pour le calcul d'une PNEC terrestre**

Information disponible	Facteur d'incertitude
Concentration létale 50% obtenue lors de tests de toxicité aiguë (par ex. plantes, vers de terre ou microorganismes)	1000
Concentration sans effet (NOEC) obtenue lors d'un essai de toxicité chronique (par ex. plante)	100
Concentration sans effet (NOEC) obtenue lors d'essais de toxicité sur deux espèces représentant 2 niveaux trophiques	50
Concentration sans effet (NOEC) obtenue lors d'essais de toxicité sur trois espèces représentant 3 niveaux trophiques	10
Données en plein champ	Cas par cas

➤ **Tableau récapitulatif du calcul des PNEC par intoxication orale à l'imidaclopride**

		Variable observée	Facteur d'incertitude	PNEC
<b>Toxicité aiguë</b>				
DL 50 48h = 4ng/abeille		Mortalité	100	40 pg/ab
<b>Toxicité chronique par voie orale</b>				
Abeilles adultes : DL50 10j = 0,012ng/ab		Mortalité	10	1,2 pg/ab
<b>Toxicité sublétales</b>				
Laboratoire	1 seul traitement par voie orale NOEC = 0,94 ng/ab	Modifications comportementales	50	20 pg/ab
	Traitement réitéré par voie orale NOEC = 0,2ng/ab	Modifications comportementales	10	20 pg/ab
Sous tunnel	Sur nourrisseur LOEC = 0,075 ng/ab	Modifications comportementales	10	7,5 pg/ab
Plein champ	Sur nourrisseur NOEC = 0,25 ng/ab	Modifications comportementales	5	50 pg/ab

➤ **Tableau récapitulatif du calcul des PNEC par intoxication topique à l'imidaclopride**

		Variable observée	Facteur d'incertitude	PNEC
<b>Toxicité aiguë</b>				
DL50 = 6,7 ng/ab		Mortalité	100	67 pg/ab
<b>Toxicité sublétales</b>				
Laboratoire	1 seul traitement par voie topique LOEC = 0,1 ng/ab	Modifications comportementales	50	2 pg/ab

c) **Evaluation des risques**

Les risques sont évalués par le rapport entre la concentration d'exposition (PEC) et la concentration prévisible sans effet pour les abeilles (PNEC). **Un rapport "PEC/PNEC" supérieur à 1 traduira un risque préoccupant pour les abeilles tandis qu'un rapport inférieur à 1 pourra être considéré comme indiquant un risque non préoccupant.**

Les rapports PEC/PNEC obtenus selon les scénarios sont indiqués dans le tableau n°7 :

**Tableau n° 7 :**

<b>Rapport PCE/PNEC selon le pourcentage de contamination des produits consommés</b>			
<b>Scénario</b>	<b>A parti d'une exposition à du tournesol traité Gaucho</b>	<b>A partir d'une exposition à du maïs traité Gaucho</b>	<b>Commentaires relatifs au scénario</b>
<b>Scénario 1 :</b> consommation de bouillie larvaire par les larves	Rapport PEC/PNEC non déterminé par absence de données de toxicité		<b>Absence de données:</b> de toxicité, de dosage de résidus dans la gelée royale et la bouillie larvaire ainsi que de stabilité de l'imidaclopride au cours du stockage dans la ruche
<b>Scénario 2 :</b> consommation de pollen par les nourrices	2 à 9	2,1 à 9	<b>Absence de données:</b> sur la stabilité de l'imidaclopride au cours du stockage du pollen dans la ruche et de dosage de résidus dans le pain d'abeille
<b>Scénario 3 :</b> consommation de pollen par les butineuses	0,07 à 0,3	0,07 à 0,32	<b>Scénario reposant sur l'estimation</b> de la proportion de pollen ingéré lors de la confection des pelotes
<b>Scénario 4 :</b> consommation de nectar par les butineuses	2,6 à 13	Maïs : plante non nectarifère	<b>Absence de données</b> de dosage de résidus de miel stocké dans la ruche. <b>Scénario reposant sur une seule analyse de résidus dans le nectar.</b>
<b>Scénario 5 :</b> consommation de miel par les abeilles d'intérieur	9,5 à 190	Maïs : plante non nectarifère	<b>Absence de données :</b> de dosage de l'imidaclopride dans le miel et sur sa stabilité lors de son stockage dans le miel. <b>Scénario reposant sur une seule analyse de résidus dans le nectar.</b>

#### 4. Conclusion de l'étude du CTS

L'évaluation des risques pour les abeilles présentés par l'enrobage à l'imidaclopride de semences a été menée après avoir élaboré des scénarios originaux susceptibles d'être utiles pour l'évaluation d'autres substances chimiques phytosanitaires. Ces scénarios sont basés sur les connaissances de spécialistes en apiculture, de la biologie des abeilles et sur des données issues de la littérature scientifique. Une étude bibliographique exhaustive a rassemblé l'ensemble des données de toxicologie des abeilles et les données concernant les troubles comportementaux relatifs à l'utilisation d'imidaclopride aux différentes étapes de la vie de l'abeille. Les données de terrain rapportées par les apiculteurs au sein du CST ou ayant été auditionnés ainsi que celles fournies par le producteur de l'imidaclopride en enrobage de semences, ont été prises en compte.

Quel que soit les scénarios, l'évaluation des risques présentés par l'imidaclopride en enrobage de semences conduit, d'une manière générale, à un rapport PEC/PNEC supérieur ou égal à 1.

**Dans l'état actuel de nos connaissances, selon les scénarios développés pour évaluer l'exposition et selon les facteurs d'incertitude choisis pour évaluer les dangers, les rapports PEC/PNEC obtenus sont préoccupants. Ils sont en accord avec les observations de terrain rapportées par de nombreux apiculteurs en zones de grande culture (maïs, tournesol), concernant la mortalité des butineuses (scénario 4), leur disparition, leurs troubles comportementaux et certaines mortalités d'hiver (scénario 5).**

**En conséquence, l'enrobage de semences de tournesol Gaucho® conduit à un risque significatif pour les abeilles de différents âges, à l'exception des butineuses lorsqu'elles ingèrent du pollen lors de la confection de pelotes (scénario 3).**

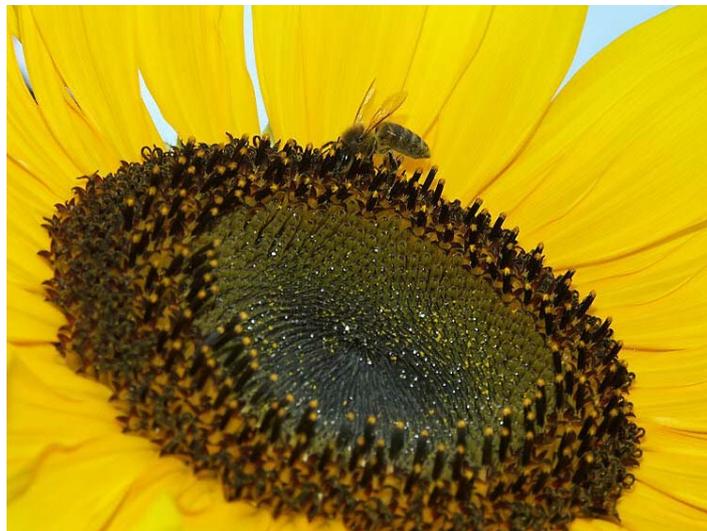
**En ce qui concerne l'enrobage Gaucho® de semences de maïs, le rapport PEC/PNEC s'avère, comme pour le tournesol, préoccupant dans le cadre de la consommation de pollen par les nourrices, ce qui pourrait entraîner une mortalité accrue de celles-ci et être un des éléments de l'explication de l'affaiblissement des populations d'abeilles encore observé malgré l'interdiction du Gaucho® sur tournesol.**

**Enfin, étant donné que d'autres facteurs peuvent contribuer à l'affaiblissement des colonies d'abeilles, il convient que les recherches soient poursuivies sur la fréquence, les mécanismes et les causes de ces symptômes.**

### **III. CONCLUSION**

Après plusieurs années de combat visant à obtenir l'interdiction de l'imidaclopride en traitement des semences, les associations d'apiculteurs ont eu gain de cause. Ils ont aussi, dans les même temps, montré du doigt un autre insecticide, le fipronil (spécialité Régent TS® commercialisé par la firme BASF). Ainsi, un rapport du professeur Jean-François Narbonne, membre de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments confirme que « la toxicité du Fipronil aurait été sous-estimée et cela ne serait pas sans conséquence sur la santé humaine » (Article Ouest-France du 7 Janvier 2004 : « Un insecticide à risque »). Son utilisation a aussi suspendu (en avril 2005).mais sa rémanence continue à entretenir des inquiétudes.

Ces événements ont mis en évidence une réalité inquiétante : l'estimation de la toxicité des produits phytosanitaires constitue un travail complexe et l'utilisation de ces produits doit être soumise à des contrôles permanents. De plus, le principe de précaution est difficilement applicable par les pouvoirs publics tant les enjeux financiers rivalisent avec la sécurité sanitaire.



# **PARTIE III : LES ALTERNATIVES**

## **I. INTRODUCTION**

Face aux inquiétudes soulevées par l'emploi (abusif ou non) des adjuvants en production végétales, on a vu se mettre en place des méthodes alternatives de culture.

Nous aborderons dans cette troisième partie les grands principes des méthodes les plus employées tout en soulignant leurs avantages ainsi que leur limites.

## **II. L'AGRICULTURE RAISONNEE**

### **A. La définition et les principes de l'agriculture raisonnée**

#### **1. Définition**

L'agriculture raisonnée correspond à des démarches globales de gestion d'exploitation qui visent, au-delà du respect de la réglementation, à *renforcer les impacts positifs des pratiques agricoles sur l'environnement et à en réduire les effets négatifs*, sans remettre en cause la rentabilité économique des exploitations. Les modes de production raisonnés en agriculture consistent en la mise en œuvre de moyens techniques dans une approche globale de l'exploitation. Au-delà des impératifs de sécurité alimentaire des produits agricoles, qui s'imposent à toutes les productions, les modes de production raisonnés peuvent faciliter la maîtrise des risques sanitaires et contribuer à l'amélioration du bien-être animal. Ils permettent également de contribuer à l'amélioration des conditions de travail. [24]

#### **2. Principes**

Bien que nous ne développons, dans cet exposé, que les productions végétales, nous précisons, ici, les recommandations concernant l'ensemble des productions tant végétales qu'animales.

La démarche d'agriculture raisonnée se fonde sur les principes suivants qui précisent la définition :

##### **a) Gestion globale de l'exploitation**

Se tenir informé de l'évolution des techniques et des connaissances.

Se former aux techniques les plus adaptées au système de production.

Former et sensibiliser ses salariés aux pratiques de l'agriculture raisonnée.

Intégrer l'exploitation agricole dans une démarche globale prenant en compte son contexte socio-économique (travail, débouchés...) et son environnement.

Informers les personnes présentes sur l'exploitation (exploitants, main-d'œuvre familiale, salariés permanents, saisonniers et temporaires) sur les bonnes conditions en matière de santé et de sécurité au travail et les former de manière adéquat.

Contribuer à la protection des paysages, de la biodiversité et des ressources naturelles.

Trier et éliminer les déchets produits sur l'exploitation de manière à éviter toute détérioration des milieux, en participant aux collectes spécifiques lorsqu'elles existent.

Respecter les lois et règlements dans le champ du référentiel de l'agriculture raisonnée.

#### b) Traçabilité des pratiques agricoles

Enregistrer les interventions effectuées sur l'exploitation,  
Conserver et classer les documents relatifs à la gestion de l'exploitation et des pratiques agricoles, afin d'améliorer ses pratiques agricoles et d'en assurer la traçabilité.

Respecter le système national d'identification des animaux et assurer la traçabilité de l'origine, de l'âge, de la race et de la catégorie de tous les animaux de l'élevage.

Assurer la traçabilité des aliments des animaux, qu'ils soient produits sur l'exploitation ou achetés à l'extérieur.

#### c) Les productions végétales

Préserver sur le long terme la fertilité des sols (entretien et amélioration de la fertilité physique, chimique et biologique des sols, prévention de l'érosion, maîtrise des risques d'accumulation de métaux lourds...).

Lutter contre l'érosion des sols par des pratiques appropriées.

Gérer les effluents d'élevage de façon à optimiser leur valorisation agronomique et à réduire leur impact sur l'environnement.

Réduire les risques de pollution du milieu naturel par les fertilisants en équilibrant la fertilisation (dates et doses d'apport de fertilisants adaptées aux besoins des plantes) et en adaptant les pratiques concernées (couverture végétale des sols dans les situations à risques, enfouissement des résidus de culture et des fertilisants...).

Raisonner ses pratiques de protection des cultures, en utilisant les méthodes culturales et biologiques disponibles, en choisissant les variétés les plus adaptées et en ne faisant usage des produits phytosanitaires que lorsque cela est nécessaire et justifié, de façon à minimiser les quantités utilisées.

Réduire les risques liés à l'usage de produits phytosanitaires pour l'homme et pour l'environnement.

Participer à une gestion économe et équilibrée des ressources en eau, en adaptant et en minimisant les apports sur la culture en fonction des besoins de la plante et des conditions climatiques et en réduisant les risques de pollution du milieu.

#### d) Les animaux

Alimenter les animaux de façon saine et équilibrée, en respectant leur physiologie et les règles de sécurité sanitaire et d'hygiène préconisées et en veillant à limiter l'impact des déjections sur l'environnement.

Respecter le plan de prophylaxie et les contrôles sanitaires exigés et assurer la traçabilité de tous les traitements appliqués sur les animaux.

Ne recourir à l'administration de médicaments vétérinaires que sur la base d'un suivi vétérinaire régulier et adapté à chaque type d'élevage.

Veiller au bien-être des animaux en respectant leur physiologie, en satisfaisant leurs besoins alimentaires, en aérant correctement leurs bâtiments et en les maintenant dans un état physique satisfaisant.

Respecter les règles de sécurité sanitaire et d'hygiène.

Tous ces principes sont rassemblés dans une charte que l'agriculteur s'engage à respecter lorsqu'il est qualifié. [25]

## **B. Législation**

L'agriculture raisonnée bénéficie, en France, d'un cadre officiel sous la forme d'un cahier des charges adopté par le *Conseil supérieur d'orientation et de coordination de l'économie agricole et alimentaire (CSO)* en mai 2002.

Ce référentiel comprend 98 critères se rapportant à tous les aspects d'une gestion globale : formation, traçabilité, gestion des déchets, sécurité du travail, fertilisation et protection des cultures, santé et bien-être des animaux, biodiversité, etc. Ils laissent une certaine liberté d'appréciation à l'agriculteur, dans une philosophie de responsabilité et de gestion raisonnable qui caractérise ce type d'agriculture. Ces restrictions beaucoup plus limitées que celles imposées à l'agriculture biologique, attirent de ce fait de nombreux agriculteurs qui peuvent ainsi satisfaire la demande de certification de leurs clients sans modifier profondément leurs méthodes.[25]

## **C. Limites**

Les limites de l'agriculture raisonnée sont souvent mis en avant : bien que dotée d'un caractère limitant et prudent, l'agriculture raisonnée reste de fait une agriculture industrielle « classique » qui – malgré l'utilisation de quelques méthodes issue de l'agriculture biologique – repose sur les principaux paradigmes suivants :

1– Utilisation pour les plantes d'engrais minéraux artificiels.

2 – Sélection génétique des plantes ou animaux, et de modes d'élevages reposant quasi-exclusivement sur des impératifs économiques : pour les plantes, arrivée prévisible à maturité, aspect, durée de conservation, résistance aux chocs pour les transports.

3 – Protection médicale assistée des plantes ou animaux, grâce à l'utilisation de produits phytosanitaires de synthèse pour les plantes, ou d'antibiotiques pour les animaux.

4 – Concentration géographique, et spécialisation des élevages ou des cultures en vue d'une exploitation économique « optimisée » : un mode de production qui se révèle à l'usage porteur de plus d'inconvénients que d'avantages (désertification des campagnes, appauvrissement accéléré des sols dû à la monoculture, pollution accrue des élevages).

L'agriculture raisonnée, dotée depuis mai 2002 de normes officielles, est à la recherche d'une légitimité qui lui fait encore défaut. Le laxisme volontaire des 98 critères imposés – par exemple environ la moitié reprend des exigences réglementaires que tous les producteurs sont déjà tenus de respecter – dénote une volonté de faire entrer le plus grand nombre possible d'agriculteurs dans la démarche, officialisant ainsi l'entrée de l'agriculture industrielle « classique » dans l'ère du développement durable...

L'avenir dira si ce type d'agriculture aura servi de tremplin à des méthodes agricoles vraiment écologiques et durables de la terre, ou si celle-ci, en devenant le standard de production de demain, se contentera de maintenir les problèmes environnementaux à une échelle acceptable, sans jamais vraiment les éliminer totalement. [25]

### III. L'AGRICULTURE INTEGREE

#### A. Principe

L'agriculture « intégrée » se distingue de l'agriculture « conventionnelle » par une approche plus globale du système de production. Cette approche prend en compte toutes les interactions possibles entre les techniques de production. Cela permet une utilisation des facteurs de production qui minimise l'utilisation d'intrants (éléments nutritifs, produits phytosanitaires, énergie) en valorisant au mieux les ressources naturelles, les cycles d'éléments nutritifs et les processus naturels de régulation.

Le concept d'agriculture intégrée est issu de celui de lutte intégrée, lui-même influencé par celui de lutte biologique.

L'agriculture intégrée développe les stratégies suivantes :

- approche globale pour minimiser les risques sanitaires (rotations longues, assolements diversifiés, taille raisonnable des parcelles, itinéraires techniques adaptés, choix de variétés et de races résistantes),
- approche globale pour minimiser le gaspillage de fertilisants (mixité du système, valorisation des engrais de ferme, engrais verts et légumineuses),
- objectifs de rendement réalistes, accessibles par exemple 5 années sur 10,
- respect du code de bonnes pratiques pour la fertilisation azotée et les produits phytosanitaires,
- décisions de traitements phytosanitaires et de fertilisation basées sur l'analyse et l'observation,
- décisions de traitement sanitaire basées sur l'état de santé des animaux,
- bon niveau de technicité,
- recherche de la qualité des productions.

Assez récemment, certains partisans de l'agriculture intégrée insistent sur l'importance du maintien ou de l'extension d'une infrastructure écologique dans le paysage. Ces éléments peuvent correspondre à des haies, des bandes herbeuses, des zones extensives ou non cultivées de l'exploitation.

Il est important de définir le concept de biodiversité associée à l'agriculture. Cette biodiversité peut s'envisager au niveau de la diversité génétique au sein des espèces, du nombre d'espèces au sein des communautés et de la diversité des communautés au sein du paysage.

Ces diversités doivent être appréhendées dans l'espace et dans le temps, spécialement lorsque les assolements varient d'une année à l'autre.

Deux catégories de biodiversité peuvent être distinguées :

-La biodiversité planifiée par l'agriculteur (ou biodiversité agricole) est constituée, au niveau du gène, des variétés de plantes et des races d'animaux, voire des souches de micro-organismes utilisés volontairement par l'agriculteur. Au niveau spécifique, elle est constituée des espèces cultivées ou élevées. Au niveau des communautés, elle est définie par les types de couverts (prairies permanentes ou temporaires, intensives ou extensives, parcours, cultures annuelles ou permanentes, jachères), par la taille des parcelles, le réseau de haies ou de tournières, la présence de vergers ou de chênes (« Dehesa ») et l'hétérogénéité de l'assolement.

-La biodiversité associée est constituée des écotypes, espèces sauvages et communautés apparaissant spontanément dans les systèmes de production. Une partie de ces espèces jouent un rôle déterminant, on la qualifie de biodiversité fonctionnelle (ou biodiversité para-agricole). Il s'agit notamment d'espèces qui ont un effet positif sur la production comme des organismes photosynthétiques d'intérêt fourrager, des micro-organismes décomposeurs ou fixateurs d'azote, des parasitoïdes et des prédateurs des ennemis des cultures, des pollinisateurs, des vers de terre. D'autres espèces « fonctionnelles » ont un effet au moins partiellement négatif sur la production agricole comme les adventices, les maladies et les ravageurs. Au niveau des communautés, la biodiversité fonctionnelle est constituée notamment de haies, de tournières et de bandes boisées. Parmi les autres écotypes et espèces spontanés, plus ou moins fortement associés au système, mais qui jouent un rôle moins important dans le fonctionnement général (biodiversité extra-agricole), on peut citer des plantes supérieures (exemple : orchidées), des insectes (exemples : papillons, libellules), des oiseaux et des mammifères. De nombreuses espèces de cette catégorie ont cependant un intérêt patrimonial important. Parmi les éléments de diversité des communautés de moindre importance d'un point de vue fonctionnel, on peut citer les arbres isolés, les bosquets, les mares, les friches.[24]

## **B. Exemples de lutte intégrée ou lutte biologique**

C'est un moyen élégant de réduire les effectifs d'un organisme - animal ou plante - gênant, en le faisant dévorer par un de ses ennemis naturels. Les insectes sont très présents dans la lutte biologique (LB). D'abord comme cible : contre ravageurs des cultures et vecteurs de maladies, on a recours aux services de bactéries, de champignons, de virus, de nématodes, et surtout d'autres insectes, prédateurs ou parasites. En second lieu donc comme agents de LB (ou " auxiliaires ") pour détruire les insectes ravageurs ou gênants évoqués ci-dessus - mais aussi des plantes indésirables, envahissant champs ou canaux.

De très nombreuses espèces sont mises à contribution, que les individus soient simplement prélevés dans un lieu puis relâchés là où sévit l'indésirable (à charge pour eux de s'établir et de se multiplier- on parle d'acclimatation) ou qu'il faille les multiplier en insectarium à chaque saison (on pratique des " traitements biologiques "). Par exemple, la Coccinelle *Rodolia cardinalis* fut prélevée en Australie, où est son habitat naturel, et installée en Californie où les agrumes dépérissaient sous l'action de la Cochenille *Icerya purchasi* (elle-même soupçonnée de provenir d'Australie). Opération victorieuse - les coccinelles, génération après génération, ont consommé les cochenilles - qui se passait en 1868. À l'époque, l'ingéniosité devait bien pallier l'absence d'insecticides chimiques, dont on a abusé depuis.

Un exemple plus récent : pour lutter contre la pyrale du maïs - une chenille que l'agriculteur redoute -, on envoie des vagues successives de millions de micro-hyménoptères, des trichogrammes (qu'on a élevés sur des oeufs d'un autre papillon), pondre dans les oeufs de la Pyrale, leur larve tuant le ravageur. Une méthode efficace, si elle est bien appliquée, et respectueuse de l'environnement. En dépit des travaux effectués et en cours, il n'y a pas - et de loin - d'arme disponible contre chaque insecte impliqué comme ravageur ou vecteur de maladie, et il demeure rare que la lutte biologique élimine les plantes indésirables. Et les éventuels effets indésirables de la LB (sur la faune locale) sont examinés avec grand soin.

### **C. Limites**

La production intégrée ne possède pas à l'heure actuelle de cahier des charges officiel en France, à la différence de l'Agriculture Biologique.

Les agriculteurs mettent souvent en avant le coût induit par l'adoption de la lutte intégrée. Mais dans un rapport de l'INRA du 14/02/06, Robert Habib soutient que ce coût n'est pas forcément prohibitif. Lié à la surveillance des parcelles, il varie entre 100 et 1 000 €/ha selon le nombre de traitements économisés et les coûts supplémentaires de certaines pratiques : pour un verger moyen, il correspondrait à un surcoût de quelques centimes par kilogramme de fruits produits. Ce coût est pris en charge à raison de 50% environ par la politique agricole commune depuis 1996, pour les producteurs membres d'Organisations de Producteurs, engagés dans des programmes contractuels.

Il faut cependant mettre ces chiffres en regard de la grande variabilité interannuelle des rendements et des prix, qui peut rendre toute prise de risque supplémentaire objectivement non supportable du point de vue de l'arboriculteur. Un complément d'analyse est nécessaire pour évaluer dans quelle mesure un mécanisme assurantiel permettrait de contribuer à son adoption.

## **IV. L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE**

### **A. Principe**

L'agriculture biologique constitue un mode de production qui trouve son originalité dans le recours à des pratiques culturales et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels. Ainsi, **elle exclut l'usage des produits chimiques de synthèse, des OGM et limite l'emploi d'intrants.**

Le terme est apparu vers 1950, par opposition au système de production agricole qui s'est mis en place à partir du 19<sup>ème</sup> siècle, qualifié de chimique en raison de son usage de produits de synthèse (engrais d'abord, puis produits de protection des plantes contre les maladies et les ravageurs), ou de productiviste par sa logique, et considéré, parfois, comme dangereux et non durable.

Les fondements théoriques de l'agriculture biologique utilisent les notions de :

- fluide vital : il s'agit de ne pas polluer, ne pas amoindrir ce fluide en lui incorporant des éléments minéraux ou pire encore, artificiels ;
- système : il ne faut pas nourrir directement la plante seulement, mais gérer tout le système air-eau-sol-plantes-animaux sans le forcer ;
- respect des ses éléments : nourrir une vache avec de l'herbe, et non avec des concentrés contenant des sous-produits animaux ;
- méfiance à l'égard de l'homme ou du moins de certaines de ses actions anti-naturelles. [26]

De tels fondements s'appuient sur des notions élémentaires qu'il convient de respecter tant au niveau de la théorie que de la pratique. Il s'agit principalement de la notion :

- d'équilibre : tout acte ou toute pensée doit veiller à respecter un équilibre avec l'environnement. Le développement réside dans les déplacements des équilibres naturels.
- de diversité : les systèmes techniques ou philosophiques dépendent des contextes locaux spécifiques avant de répondre à des fondements immuables.
- d'autonomie : en fonction du contexte et des équilibres en place, l'action ou la pensée vise aussi à ne pas priver les êtres humains de leur autonomie. Par exemple, vis-à-vis de l'industrie chimique qui peut produire des intrants biologiques en grande quantité.[26] et [28]

## **B. Avantages**

Les bénéfices que la société peut retirer de l'agriculture biologique sont multiples en termes de création d'activités et d'emplois, de préservation de la qualité des sols, de la biodiversité, de l'air et de l'eau. Ce mode de production permet d'expérimenter en vraie grandeur des pratiques innovantes respectueuses de l'environnement et qui sont susceptibles d'être développées plus largement en agriculture. Ses modes de transformation privilégient la mise en valeur des caractéristiques naturelles des produits.

## **C. Réglementation**

### **1. Introduction**

Au niveau européen, le premier règlement sur l'agriculture biologique est entré en vigueur en 1992 (Règlement n° 2092/91), suivi en août 1999, de règles relatives à la production, l'étiquetage et l'inspection en matière d'élevage (Règlement n° 1804/1999). Un plan d'action pour favoriser le développement des modes de production biologiques est en cours d'élaboration, début 2004, par la Commission européenne. Les règles de base sont l'interdiction d'utiliser des engrais chimiques et pesticides ou herbicides de synthèse. L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM) est également interdite. Les produits de l'agriculture biologique bénéficient de marques et de logos protégés au niveau européen.

Il faut remarquer que cette législation définit ce qu'on appelle une « obligation de moyens », mais ne garantit pas la qualité des produits elle-même. Mais des taux de pesticides, le poids de matière sèche ou la quantité en micronutriments démontrent une qualité phytosanitaire moyenne supérieure de cette production, sans compter le facteur gustatif qui n'a pas encore fait l'objet d'enquêtes.

Le terme agriculture biologique est maintenant légalement protégé en France depuis la loi d'orientation agricole du 4 juillet 1980 et le décret du 10 mars 1981, lesquels l'ont définie, et ont fixé les conditions d'homologation des cahiers des charges et précisé les substances pouvant être utilisées dans la production, la conservation et la transformation des produits agricoles. [29]

## 2. Historique et réglementation générale

Le terme " agriculture biologique " apparaît en 1991 dans un règlement européen qui reconnaît officiellement ce mode de production (règlement CEE du Conseil n°2092/91 du 24 juin 1991 pour les productions végétales). S'agissant des productions animales, les ministres européens de l'agriculture ont adopté le 19 juillet 1999 le règlement CE n°1804/99 (Règlement Européen pour les productions animales biologiques appelé REPAB) et qui est entré en application le 24 août 2000. Ce texte complète le règlement (CEE) n°2092/91.

Règlement européen RCEE n°2092/91 -Articles - Mise à jour 25/11/2005

Règlement européen RCEE n°2092/91 -Annexes - Mise à jour 25/11/2005

Comme le REPAB le permettait, la France a élaboré un cahier des charges complétant ce règlement : le CC REPAB F (mise à jour 05/10/05) qui prévoit certaines dispositions plus strictes que le règlement communautaire.

Un guide de lecture "Productions végétales" (mise à jour le 7/07/05) pour l'application du règlement européen CEE n°2092/91 concernant le mode de production biologique (hors productions animales) a été rédigé à l'intention des organismes certificateurs et de tous les opérateurs en agriculture biologique.

En outre, afin d'unifier les interprétations du CC REPAB F, un guide de lecture "Productions animales" (mise à jour 14/12/05) pour l'application du cahier des charges REPAB F a été rédigé : il s'adresse aux organismes certificateurs et à tous les opérateurs de l'agriculture biologique. [37]

## 3. Semences et matériel de reproduction végétative

Dispositions relatives à l'approvisionnement en semences et matériels de reproduction végétative en mode de production biologique :

Règlement (CE) n°1452/ 2003 de la commission du 14 août 2003

En 1995, le règlement sur le mode de production biologique a été modifié en ce qui concerne les semences et plants : la production en agriculture biologique implique depuis cette date que les semences et les matériels de reproduction végétative ont été produits conformément aux règles générales de l'agriculture biologique pendant au moins une génération, ou, pour les cultures pérennes pendant deux périodes de végétation. Cette condition concerne l'ensemble des semences et des plants, et est obligatoire sans possibilité de dérogation pour les plants de légumes issus de semences ... Pour les semences et les plants de pomme de terre, dans le cas où des semences bio des variétés recherchées ne sont pas disponibles, une dérogation reste possible dans des conditions strictes précisées par le Règlement communautaire d'août 2003.

La production de semences à des fins de commercialisation répond, elle aussi, à des règles très strictes.

Elle est obligatoirement réalisée sous contrat, passé entre l'agriculteur multiplicateur et l'entreprise productrice. Ce contrat reprend les dispositions d'une

convention type de multiplication. Les conditions de production sont définies dans un règlement technique. Ce règlement technique définit également les modalités de contrôle de la production de semences.

Les semences produites et commercialisées sont officiellement contrôlées par le

SOC (Service Officiel de Contrôle et de Certification) et par la DGCCRF (Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de Répression des Fraudes) afin d'apporter à leurs utilisateurs toutes les garanties sur leur qualité ; les semences potagères sont vendues en "semences standards" et les semences de grandes cultures en "semences certifiées".

La production de semences et de plants en agriculture biologique doit répondre à la fois aux règles de production en bio et aux règles spécifiques à la production de semences ; il en va de même pour la commercialisation.[37] et [38]

#### **4. Alimentation des animaux de compagnie**

Un cahier des charges "aliments pour animaux de compagnie à base de matières premières issues du mode de production biologique" a été homologué par arrêté interministériel du 16 février 2004. Il précise le mode de préparation, d'étiquetage, de contrôle et de certification des aliments destinés aux animaux de compagnie : chiens, chats et aussi l'ensemble des espèces d'animaux de compagnie au fur et à mesure du développement de la demande.

#### **5. Les importations**

Pour être reconnus comme "biologiques" les produits agricoles et alimentaires doivent :  
- soit provenir de pays tiers dont la réglementation a été évaluée comme équivalente par la Commission : actuellement six pays dont la liste et les produits concernés figurent dans le règlement (CEE) n° 94/92 modifié ,

- soit avoir obtenu une autorisation d'importation délivrée par le ministère compétent d'un État membre. Dans les deux cas, les produits doivent, lors de leur dédouanement, être présentés avec un certificat original de contrôle émis par l'autorité ou l'organisme de contrôle compétent, tel que décrit dans le règlement (CE) n° 1788/2001 , en application depuis le 1er novembre 2002.

L'importateur doit être contrôlé par un organisme certificateur agréé et doit notifier son activité à l'Agence Bio.

Les nouvelles procédures d'examen des demandes d'autorisation à commercialiser des produits de l'agriculture biologique en provenance de pays tiers ont fait l'objet d'une publication d'un décret au Journal officiel (Décret n°2004-892 du 26 août 2004 relatif aux procédures d'examen des demandes d'autorisation à commercialiser des produits de l'agriculture biologique en provenance de pays tiers).

Les nouvelles dispositions relatives aux importations de produits biologiques (application de l'article 11-6 du RCEE/2092/91) :

- Décret n°2004-892 du 26 août 2004 relatif aux procédures d'examen des demandes d'autorisation à commercialiser des produits de l'agriculture biologique en provenance de pays tiers

- Demande initiale de mise sur le marché de l'UE de produits de l'agriculture biologique originaires de pays tiers

- Demande de renouvellement d'une autorisation de mise sur le marché de l'UE de produits de l'agriculture biologique originaires de pays tiers

- Notes Explicatives pour les importateurs de produits issus de l'agriculture biologique
- Guide pour l'évaluation de l'équivalence des régimes de certification des groupements de producteurs appliqués dans les pays en développement

#### **D. Le contrôle en agriculture biologique**

Le contrôle des conditions de production, de transformation et d'importation est réalisé par des organismes certificateurs. Ceux-ci sont agréés par les pouvoirs publics français sur la base de critères d'indépendance, d'impartialité, d'efficacité et de compétence. L'agrément officiel est précédé par une accréditation délivrée par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC).

Les opérateurs en agriculture biologique doivent notifier leur activité auprès de l'Agence Bio chaque année et chaque acteur de la chaîne de production et de transformation doit être certifié. Cette obligation a été étendue à partir du 1er juillet 2005 à toute personne commercialisant un produit AB : distributeurs, grossistes, négociants, sous-traitant, façonnier, commerces, restaurants... (Règlement européen CE n°392/2004 du 24/02/2004).

Liste des organismes agréés par le ministère de l'agriculture mise à jour en janvier 2006 :

- **Ecocert S.A.S**

BP 47 - 32600 L'Isle Jourdain  
Tél. : 05.62.07.34.24 - Fax : 05.62.07.11.67  
Courriel : info@ecocert.fr

- **Qualité France S.A.**

Bâtiment le Guillaumet 60, Av. du Gal de Gaulle - 92046 Paris La Défense cedex  
Tél : 01.41.97.00.74 - Fax : 01.41.97.08.32  
Ou  
ZA Le Teillay, Le Janet 35 950 Brie  
Tél. : 02.99.47.38.38 - Fax : 02.99.47.38.30  
Courriel : bio@fr.bureauveritas.com

- **Ulase**

Place du Champ de mars - BP 68 - 26 270 Loriol sur Drôme  
Tél. : 04.75.61.13.00 - Fax : 04.75.85.62.12  
Courriel : info@ulase.fr

- **Agrocert**

4 rue Albert Gary - 47200 Marmande  
Tél. : 05.53.20.93.04 - Fax : 05.53.20.92.41  
Courriel : agrocert@agrocert.fr

- **Aclave**

56 rue Roger Salengro - 85013 La Roche sur Yon cedex  
Tél. : 02.51.05.14.92 - Fax : 02.51.36.84.63  
Courriel : [accueil@aclave.asso.fr](mailto:accueil@aclave.asso.fr)

- **SGS ICS**

191 av Aristide Briand - 94 237 Cachan cedex  
Tél : 01.41.24.83.04 - Fax : 01.41.24.89.96  
Courriel : [fr.certification@sgs.com](mailto:fr.certification@sgs.com)

## **E. Les logos Agriculture Biologique**

### *Le logo AB*



Le logo AB est facultatif et ne peut être porté que sur les produits végétaux, transformés ou non, qui contiennent 95 % et plus d'ingrédients issus de l'agriculture biologique.

Ce label permet au producteur de faire reconnaître son mode de production et c'est pour le consommateur un moyen rapide et efficace d'identifier un produit bio.

C'est une marque collective officielle, gérée par le ministère de l'agriculture et de la pêche.

Elle garantit le respect du règlement européen, pour les produits végétaux et celui des cahiers des charges nationaux pour les productions animales.

## *Le logo européen*



Il existe depuis l'été 1999 où il a été adopté en Conseil des Ministres.

Remarque : EUROPE-ORGANIC est un site complet sur les réglementations et les logos en Europe.

## *Les logos étrangers les plus connus*



Le logo belge "BIOGARANTIE"



et le logo hollandais "EKO"

sont les plus courants sur le marché français. Ils ne sont pas officiels mais permettent d'identifier le pays importateur, le transformateur et parfois le producteur.

## **F. Les mesures en faveur du développement de l'agriculture biologique**

Sur la base des propositions du rapport de M. Martial Saddier (01/06/03), Député de Haute-Savoie, et des concertations menées avec les organisations professionnelles, M. Hervé GAYMARD, Ministre de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales, a annoncé un ensemble de mesures en faveur du développement de l'agriculture biologique, le 2 février 2004. Communiqué et dossier de presse « mesures en faveur du développement de l'agriculture biologique »- février 2004

Ces orientations doivent permettre un développement équilibré entre l'offre de produits biologiques et le marché dans lequel ils doivent être valorisés. Elles sont guidées également par la volonté d'une meilleure prise en compte des contraintes économiques lors de l'élaboration de la réglementation et plus particulièrement de la réglementation nationale, d'une meilleure intégration de l'agriculture biologique dans le paysage agricole et agroalimentaire français, tant institutionnel, professionnel et interprofessionnel, que dans les domaines de la recherche et de la formation. Elles sont regroupées selon six grandes catégories d'objectifs :

- une meilleure connaissance des marchés et prise en compte des contraintes économiques,
- un rapprochement des réglementations nationale et européenne,
- des actions de communication et d'information du consommateur,
- un développement accru de la formation et de la recherche,
- une optimisation des soutiens des pouvoirs publics,
- la définition de lieux de concertation et de coordination adaptés.

## V. LES OGM , UNE ALTERNATIVE A PART

### A. Définition

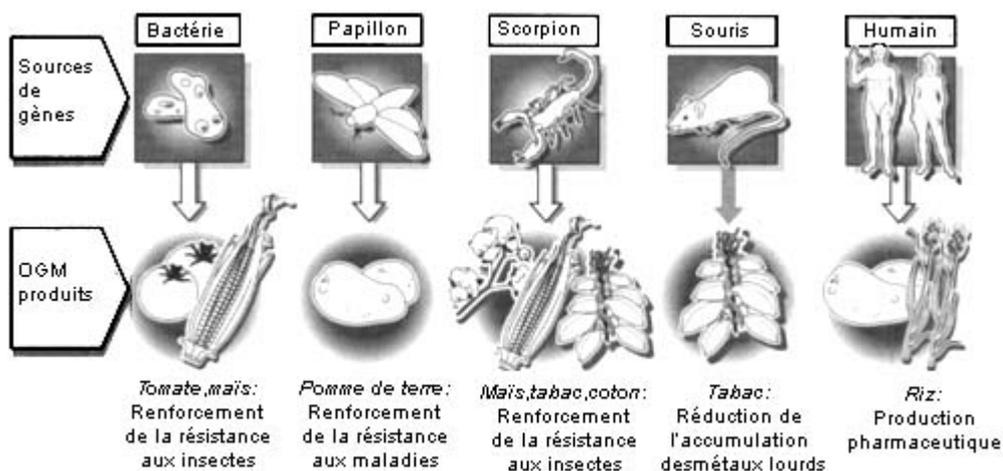
Un OGM est défini par la réglementation européenne comme "un organisme dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelle".

Il s'agit des techniques de génie génétique qui permettent de transférer dans le patrimoine génétique d'un organisme un ou plusieurs gènes apportant une caractéristique nouvelle. Les techniques de génie génétique peuvent être appliquées aussi bien sur des organismes animaux ou végétaux que sur des micro-organismes. Les gènes introduits peuvent provenir de n'importe quel organisme : virus, bactérie, levure, champignon, plante ou animal.

Le génie génétique permet ainsi de modifier, supprimer ou introduire certains caractères. La transformation peut consister selon les cas à :

- Apporter une fonction nouvelle
- Inactiver ou augmenter une fonction déjà existante.

Les OGM correspondent à des organismes ou parties d'organismes vivants qui sont capables de transférer ou de répliquer leur matériel génétique et peuvent ainsi se disséminer dans l'environnement ; par exemple dans le cas d'une plante, il s'agit aussi bien de la plante entière que des fruits, graines, pollens...



En revanche, les produits qui en dérivent tels que la farine, l'huile, etc. ... ne sont plus considérés comme des OGM. En effet, ces produits, du fait des traitements subis, ne peuvent pas se reproduire ou transmettre du matériel génétique. [31] et [43]

### B. Historique

**1973** : Identification du plasmide Ti dans la bactérie *Agrobacterium tumefaciens*. Ce plasmide permet d'accueillir le gène porteur du caractère recherché, qu'il est en mesure d'introduire dans le génome d'une plante.

**1983** : Première plante transgénique obtenue (tabac au stade expérimental).

**1985** : Première plante transgénique résistante à un insecte.

**1987** : Première plante transgénique tolérante à un herbicide total.

**1988** : Première céréale transgénique (maïs résistant à la kanamycine).

**1990** : Première commercialisation d'une plante transgénique (Chine : tabac résistant à un virus).

**1994** : premier légume transgénique commercialisé (tomate Flavr savr à maturation retardée).

**1997** : Premier tabac producteur d'hémoglobine.  
France : première autorisation de la culture transgénique : maïs résistant à la pyrale.

**1998**: Etiquetage des produits contenant des OGM.

**1999** : 40 millions d'hectares de plantes transgéniques dans le monde.

**2000** : Séquençage du génome d'*Arabidopsis thaliana*.

**2002** : 58,7 millions d'ha de plantes transgéniques cultivées dans le monde.

**2002** : Séquençage complet du riz

**2003** : 67,7 millions d'ha de plantes transgéniques cultivées dans le monde.

**2005** : La superficie mondiale des cultures génétiquement modifiées autorisées s'élève à 90 millions d'hectares soit 8,5 millions d'agriculteurs concernés, répartis dans 21 pays.

### **C. Principe et exemple d'application**

#### **1. Comment fabrique-t-on une plante génétiquement modifiée**

La fabrication d'un OGM nécessite plusieurs étapes :

#### **ETAPE 1 - Identifier, isoler, intégrer et multiplier un gène d'intérêt**

La première étape est l'identification d'un caractère que l'on veut introduire dans la plante, comme par exemple des caractères de qualité nutritionnelle, la résistance à certains insectes, à certaines maladies, à des herbicides, etc. Le gène d'intérêt peut provenir de tout organisme vivant, plante, animal ou bactérie puisque le code génétique est universel. Il doit ensuite être isolé de l'organisme donneur. Il est intégré dans une construction génétique associant souvent un gène marqueur. Ce gène marqueur permet de sélectionner les cellules qui ont intégré le gène d'intérêt. La construction est ensuite multipliée (clonée) afin de disposer d'une quantité suffisante d'ADN pour son introduction dans les cellules végétales que l'on veut transformer.

## **ETAPE 2 - Transférer le gène**

Il y a plusieurs méthodes pour introduire un gène dans une cellule :

- La transformation biologique. Cette technique utilise une bactérie du sol, *Agrobacterium*, qui a la propriété de réaliser naturellement la transformation génétique d'une plante, afin de la parasiter. Ainsi, une construction génétique introduite dans la bactérie (rendue avirulente au préalable) sera transférée dans la plante et intégrée à son génome. C'est la technique la plus couramment utilisée.
- Le transfert direct. Cette technique fait intervenir :
  - soit une projection d'ADN dans les cellules de la plante par l'utilisation d'un canon à particules qui projette dans les cellules des microparticules enrobées d'ADN (biolistique) ;
  - soit l'introduction d'ADN dans des protoplastes, par action d'un agent chimique ou d'un champ électrique (électroporation).

Les cellules issues de différents types de tissus végétaux peuvent être soumises à la transformation. Selon les espèces, ce seront des disques foliaires, des sections de tige, des cotylédons, des embryons, des microspores ou des protoplastes. Par exemple, chez le tabac et la tomate, on utilise des disques foliaires ; chez la pomme de terre, la transformation génétique peut se faire sur des protoplastes.

## **ETAPE 3 - Régénérer et évaluer les plantes transformées**

Après sélection de cellules transformées, il faut régénérer les nouvelles plantes transgéniques. Les cellules transformées se développent d'abord en cals, larges amas de cellules indifférenciées. Après quelques semaines, on observe le développement de pousses. Elles sont alors placées dans un nouveau milieu de culture permettant le développement des racines. Quand les racines sont suffisamment développées, les plantules sont repiquées en pot et acclimatées en serre.

La régénération in vitro des cellules transformées est une étape difficile à maîtriser. Aussi, le génotype, le type de tissus et les conditions de culture sont choisis en fonction de leur aptitude à la régénération.

Les plantes régénérées sont ensuite analysées pour confirmer l'insertion de la construction génétique dans leur génome. Des analyses moléculaires sont conduites dans ce sens. Des études sur l'expression du gène ont lieu à plusieurs stades, ce qui permet de caractériser le niveau d'expression et le comportement de la plante exprimant le nouveau caractère.

## **ETAPE 4 - Incorporer le gène dans une variété commerciale**

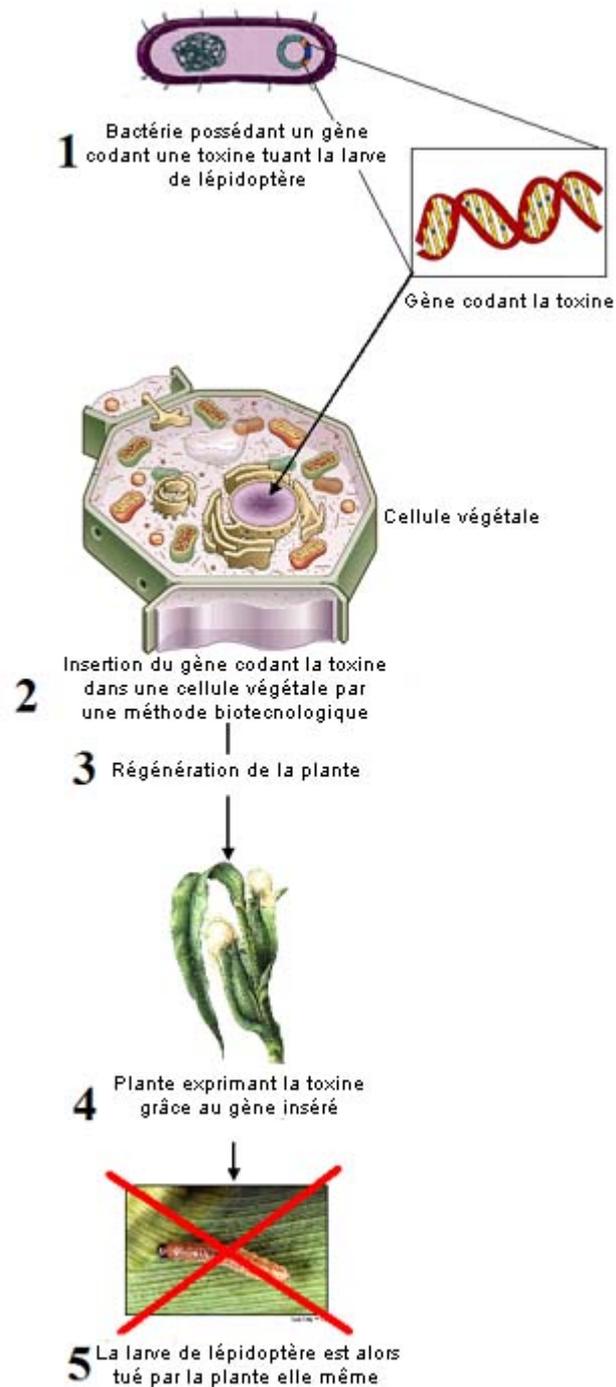
Les plantes transformées obtenues sont soumises à des croisements contrôlés pour étudier les modalités de transmission du nouveau caractère à la descendance.

La transformation et la régénération étant des opérations délicates, le génotype de la plante choisie est celui facilitant ces étapes. C'est pourquoi les plantes retenues sont ensuite soumises à une succession de rétrocroisements afin d'introduire le gène dans le matériel élite et d'obtenir de nouvelles variétés commerciales exprimant ce caractère.

## 2. Exemple d'application



**Problème :** La larve de lépidoptère endommage le maïs



## D. Application en agriculture végétale

Les modifications actuelles du génome des plantes visent à améliorer leurs caractéristiques agronomiques afin de rendre leur culture plus aisée, moins consommatrice d'intrants, plus adaptée à différentes conditions climatiques ou d'améliorer le rendement des cultures.

Quatre principales voies d'amélioration sont actuellement explorées :

### 1. La résistance des plantes aux insectes

Les insectes ravageurs sont de véritables fléaux des cultures, qui nécessitent des traitements insecticides et occasionnent des pertes importantes de rendement. Ces traitements insecticides ont d'ailleurs des limites : nuisible à l'environnement, leur utilisation répétée suscite des populations d'insectes "résistants", c'est-à-dire devenus insensibles à l'action de l'insecticide. En outre, ces produits s'avèrent parfois inefficaces, suivant le stade de développement de l'insecte (larves et insectes foreurs s'abritent à l'intérieur des tiges).

Il est possible de permettre à la plante, par modification génétique, de se défendre elle-même contre les insectes en lui faisant synthétiser des protéines toxiques pour ces dits insectes (voir exemple de transgénèse). [34] et [43]



Maïs de gauche non résistant à la larve de pyrale  
Maïs de droite transgénique résistant à la larve de pyrale



## 2. La résistance des plantes aux insectes

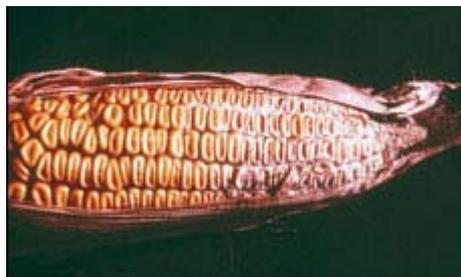
Il existe aujourd'hui des herbicides relativement peu toxiques, peu persistants, actifs à faible dose et biodégradables.

Rendre une plante de culture " tolérante " à ces herbicides permet de les répandre sur les cultures pour agir sur les plantes sauvages indésirables, tout en étant assuré que la plante cultivée soit protégée contre l'action de l'herbicide, par l'introduction d'un " gène de tolérance " dans son génome, dont l'expression empêche la substance active de détruire la plante.

Cette technique a été appliquée avec succès à de très nombreuses espèces végétales : soja, betterave, laitue, melon, pomme de terre, blé, colza, tournesol... [43], [33] et [47]

## 3. La résistance aux maladies

Virus, champignons, bactéries phytopathogènes provoquent aussi des dégâts dans les cultures. La résistance (ou la tolérance aux maladies est donc une voie essentielle afin d'éviter des pertes de rendements. Des plantes transgéniques résistantes à des virus, par exemple, ont déjà été développées (pomme de terre, melon, concombre, betterave, tomate...).

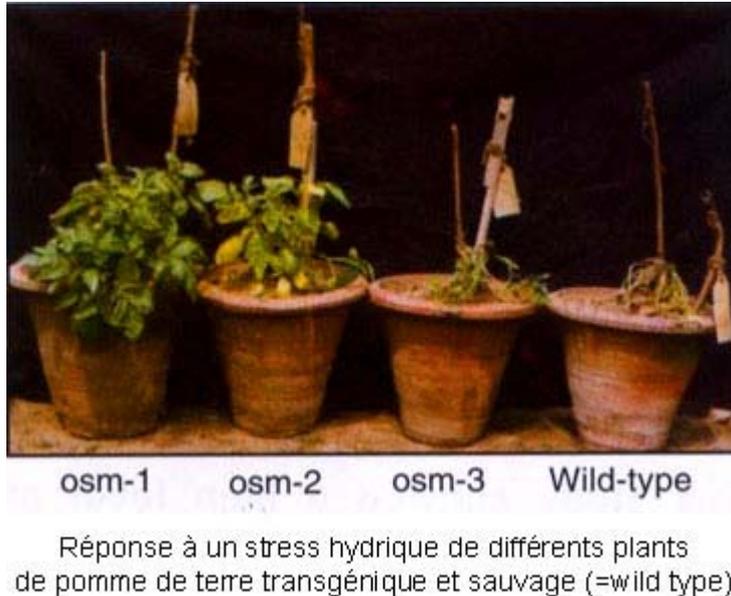


Maïs attaqué par un champignon pathogène

Signalons qu'avec les méthodes traditionnelles, la lutte contre les maladies virales est la plus problématique puisque, contrairement à la plupart des maladies fongiques ou bactériennes, il n'existe ni traitement préventif ni curatif à leur encontre (même s'il est possible de lutter contre les vecteurs que représentent les pucerons, ceux-ci peuvent avoir le temps de viroser la plante avant de mourir).

#### 4. La résistance aux conditions climatiques extrêmes

Créer des espèces résistantes par exemple au froid, à la sécheresse ou à la salinité des sols représente un immense intérêt pour les pays en développement comme pour le monde industrialisé. La recherche est déjà engagée dans cette voie d'avenir. [43]



#### E. Législation des OGM

##### 1. Processus d'autorisation dans l'union européenne

Lorsqu'une firme détentrice d'un OGM, ayant terminé ses études en milieu confiné (études également soumises à autorisation selon la directives 98/81 et 90/219), souhaite obtenir une autorisation de mise sur le marché dans l'Union européenne, elle doit passer par :

- a) Une procédure d'autorisation de dissémination volontaire d'OGM

Pour faire des expérimentations en plein air :

- dépôt d'une demande d'autorisation de dissémination volontaire d'OGM,
- évaluation des risques par l'autorité compétente de l'État membre. En France, il s'agit de la Commission du génie biomoléculaire (CGB), dont l'avis est examiné par les ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement.
- délivrance de l'autorisation de dissémination volontaire d'OGM (en France, par le ministre chargé de l'agriculture, ce qui en fait des "essais aux champs" légaux

- b) Une procédure d'autorisation de mise sur le marché

- Dépôt d'une demande d'autorisation de mise sur le marché, avec présentation des études conduites en milieu confiné et lors des disséminations volontaires d'OGM.

- Evaluation des risques par les autorités compétentes de l'État membre. En France, il s'agit de la Commission du génie biomoléculaire (C.G.B.), de l'Agence française de sécurité sanitaire et alimentaire (A.F.S.S.A.), et de la Commission d'étude de la
- toxicité des produits phytosanitaires (cas des végétaux transgéniques tolérant à un herbicide).
- Envoi du dossier d'évaluation à la commission européenne (EFSA), qui le diffuse aux autres états membres.
- Si un ou plusieurs états membres présentent des objections, l'avis des comités scientifiques de l'Union européenne est demandé. Le conseil des ministres rend alors une décision d'autorisation de mise sur le marché ou de refus.
- S'il n'y a aucune objection, l'autorisation de mise sur le marché est accordée.

### c) Réglementation communautaire de la mise sur le marché des OGM

La procédure d'autorisation de dissémination volontaire et de mise sur le marché des organismes génétiquement modifiés est fixée par la directive 2001/18/CE, publiée le 17 octobre 2002, en remplacement de la directive 90/220/CE. Cette nouvelle réglementation :

- introduit des principes plus rigoureux dans l'évaluation des risques pour l'environnement,
- clarifie et étend les critères d'évaluation des risques
- limite la durée de l'autorisation à 10 ans renouvelable,
- introduit une surveillance obligatoire postérieure à l'autorisation de mise sur le marché,
- améliore la transparence par une obligation de consulter le public,
- oblige la Commission européenne à publier tous les trois ans un rapport sur l'expérience relative aux mises sur le marché.

En France, la transposition dans le droit national de la directive 2001/18/Ce n'a pas encore été faite, ce qui soulève des problèmes par rapport au développement des cultures commerciales d'OGM.[43] et [34]

## 2. Réglementation des OGM dans l'Union Européenne

Dès le début des années 1990, l'Union européenne a mis en place un cadre réglementaire pour les OGM, qui est toujours en cours d'évolution. L'objectif de cette réglementation communautaire est de rendre compatible la création d'un marché unique des biotechnologies avec la protection de la santé publique et le respect de l'environnement.

Les domaines d'application de cette réglementation sont les suivants :

- L'utilisation confinée de microorganismes génétiquement modifiés dans la recherche et l'industrie. Ce domaine est régit par la directive 90/219/CE, modifiée par la directive 98/81/CE du Conseil.

- Les disséminations à titre expérimental et les mises sur le marché d'OGM. La directive 90/220/CEE était en vigueur jusqu'au 17 octobre 2002 dans ce domaine. Elle a été abrogée à cette date pour être remplacée par la directive
- 2001/18/CE relative à la dissémination volontaire d'organismes génétiquement modifiés. Début 2004, cette nouvelle directive n'a pas encore été transcrite dans le droit français.
- La traçabilité des organismes génétiquement modifiés et de leurs dérivés alimentaires pour les produits destinés à la consommation humaine ou animale. Le règlement 1830/2003/CE concernant cette traçabilité des OGM est applicable depuis le 18 avril 2004. Il met en place l'obligation de traçabilité des OGM et de leurs dérivés alimentaires tout au long des filières, exception faite des cas de présence fortuite.
- L'étiquetage des denrées alimentaires et aliments pour animaux contenant des organismes génétiquement modifiés ou produits à partir de tels organismes. Le règlement 1829/2003/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2004 concernant les denrées alimentaires et les aliments pour animaux génétiquement modifiés, applicable depuis le 18 avril 2004, prévoit de nouvelles règles d'étiquetage pour la filière alimentaire (voir paragraphe ci-après). Il fixe notamment un seuil de présence fortuite de 0,9 % en dessous duquel l'étiquetage n'est pas obligatoire. Précédemment, la présence de produits dérivés des OGM dans les aliments était encadrée par le règlement n° 258/97/CE du 27 janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires. Il concernait par exemple le concentré ou le ketchup obtenu à partir de tomates génétiquement modifiées.
- L'autorisation des médicaments destinés à l'homme et aux animaux est régie par le règlement n° 2309/93, qui couvre également les produits dérivés des OGM. Ce texte établit les procédures communautaires pour l'autorisation et la surveillance de ces médicaments.
- La protection des travailleurs contre les risques est régie par la directive 90/679/CE. Celle-ci concerne la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques au travail, et elle réglemente les OGM au même titre que d'autres agents biologiques. [33] et [34]

### **3. Etiquetage des OGM et produits contenant des OGM**

En application du droit des consommateurs à l'information, l'Union européenne a rendu obligatoire depuis 1997, l'étiquetage indiquant la présence d'OGM.

Les mesures relatives à l'étiquetage sont les suivantes :

- ✓ Obligation pour les États membres de prendre toutes les mesures nécessaires pour garantir l'étiquetage, à tous les stades de la mise sur le marché, des OGM commercialisés en tant que produits ou éléments de produits, exigée par la directive 2001/18/CE depuis le 17 octobre 2002, modifiée par le règlement 1829/2003/CE.

- ✓ Obligation d'étiquetage des semences de variétés génétiquement modifiées, fixée par la directive 98/95/CE et le règlement 1829/2003/CE.
- ✓ Obligation d'étiquetage des aliments et des ingrédients alimentaires contenant des OGM ou qui en sont constitués, exigée par le règlement sur les nouveaux aliments n° 258/97/CE du 27 janvier 1997, modifiée par le règlement 1829/2003/CE.
- ✓ Obligation d'étiquetage des additifs et des arômes lorsque de l'ADN ou des protéines résultant d'une modification génétique sont présents dans le produit final, fixée par le règlement 1829/2003/CE, qui abroge le règlement n° 50/2000/CE.
- ✓ Obligation d'étiquetage des aliments génétiquement modifiés pour les animaux, mise en place avec le règlement 1830/2003/CE entré en vigueur le 18 avril 2004.
- ✓ Seuil minimum de 0,9 % de présence accidentelle d'ADN ou de protéines résultant d'une modification génétique, en dessous duquel l'étiquetage n'est pas nécessaire, fixé par le règlement 1830/2003/CE. La précédente réglementation communautaire établissait ce seuil à 1 %, par le règlement n° 49/2000/CE.
- ✓ Emploi du concept d'équivalence pour l'étiquetage des aliments produits à partir d'OGM, mais qui n'en contiennent plus, fixée par le règlement sur les nouveaux aliments. Le principe d'équivalence signifie que si une caractéristique ou propriété (composition, valeur nutritive ou effets nutritionnels, utilisation projetée) fait qu'un aliment ou un ingrédient alimentaire n'est plus équivalent à un homologue existant, l'étiquetage doit signaler la modification génétique à l'origine de cette caractéristique.
- ✓ Mesures relatives à l'étiquetage des aliments et des ingrédients alimentaires dérivés d'une variété de maïs transgénique et d'une variété de soja transgénique, autorisés en application de la directive 90/220/CEE mais avant l'entrée en vigueur du règlement sur les nouveaux aliments. Ces mesures étaient fixées par le règlement n° 1139/98/CE, abrogé par le règlement 1829/2003/CE, en fonction de la présence d'ADN ou de protéines résultant de la modification génétique. Ce critère sert de modèle aux règles applicables à l'étiquetage de tous les autres aliments et ingrédients alimentaires.[43] et [45]

## F. Les risques liés à l'utilisation des OGM

### 1. Les risques pour l'environnement

#### a) Transmission par pollinisation et croisements intervariétaux

Dans l'espèce végétale, les flux de gènes s'opèrent par croisements sexuels. C'est le pollen qui est le vecteur privilégié de cette dissémination, il est transporté par le vent ou les insectes pollinisateurs. Cette transmission peut se faire entre plantes de la même espèce ou en direction d'espèces sauvages apparentées (dites mauvaises herbes). Mais ces flux de gènes s'opèrent différemment selon les espèces et l'écosystème concerné ; donc la seule approche raisonnable est l'étude au cas par cas.[45]

#### ➤ Cas d'étude

Dans le cadre d'un système de bio vigilance souhaité par les pouvoirs publics, l'INRA a mis au point des modalités de suivi des cultures transgéniques sur trois expérimentations localisées à Chalons sur Marne, Dijon et Toulouse.

Afin de mesurer la fréquence des échanges de gènes au sein des populations cultivées et des mauvaises herbes, trois estimations ont été faites :

- la distance de dispersion du pollen de trois cultures (colza, betteraves et maïs),
- les possibilités de croisements entre les variétés dans chacune des cultures,
- les possibilités de croisements entre des cultures et des espèces adventices apparentées (se dit d'une espèce végétale présente dans la culture d'une autre espèce).

Ainsi pour chaque espèce (colza, betterave et maïs), plusieurs variétés résistantes aux herbicides ont été semées sur des parcelles identifiées, ainsi que des espèces apparentées en bordure de parcelle.

Ensuite, le nombre de simple, double ou triple résistance a été mesuré sur l'espèce incriminée et les espèces apparentées à différentes distances.

#### ➤ Résultats

Les résultats indiquent que :

Pour **le colza**, la diffusion des gènes décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de pollen (2.5 % à 1 m, 0.18 % à 22.5 m, 0.01 % à 65 m). Mais un seuil zéro n'a pu être envisagé vu la petite taille des effectifs.

Par contre pour la diffusion aux espèces proches, aucun hybride n'a été observé, cependant les effectifs des plantes analysées ne permettaient pas statistiquement de détecter des fréquences d'hybridation assez importantes. On pense qu'il peut cependant s'hybrider avec d'autres crucifères sauvages comme la ravenelle, la roquette bâtarde ou plus rarement la moutarde des champs qui ont pour terre d'origine l'Europe.

Pour **la betterave**, il reste environ 3 % du pollen à une distance de 190 m et le nombre d'hybrides résistants (plantes apparentées) ne pouvait en moyenne excéder 5 %.

Il faut tout de même noter que l'étude a été plus laborieuse car les betteraves sont bisannuelles et c'est seulement en réimplantant des racines d'une année précédente que l'on peut obtenir des fleurs (utilisation de mâles stériles).

Pour le maïs, seuls les croisements intervariétaux sont possibles et sont beaucoup affectés par le vent (0.4 % d'hybrides dans une direction et 18 % dans une autre à des distances équivalentes).

Mais les échanges interespèces dans le cas du maïs sont particuliers, puisqu'il n'y a en Europe ni repousse ni espèces sauvages susceptibles de se croiser avec lui. Car le maïs est à ce point domestiqué qu'il ne peut survivre sans l'intervention de l'homme.

**Tableau récapitulatif :**

	<b>Colza</b>	<b>Betterave</b>	<b>Maïs</b>
Hybridation intervariétale (diffusion des gènes en fonction de la distance)	2,5 % à 1 m 0,18 % à 22,5 m 0,01 % à 65 m	3 % à 190 m	0,4 % à 18 % Beaucoup influencée par le vent
Hybridation interespèce	Rien n'a été observé en 1976	Inférieure à 5 %	Nulle
Remarque	Cependant beaucoup de crucifères sauvages apparentées ont pour terre d'origine l'Europe : (ravenelle, roquette bâtarde, moutarde des champs)	Plantes bisannuelles qui impliquent des études difficiles et laborieuses	Les espèces sauvages n'existent pas en Europe

[43]

➤ **Remarques**

En ce qui concerne plus particulièrement les risques de dissémination de transgènes à une espèce sauvage apparentée, plusieurs points doivent être réunis pour que cela puisse avoir lieu :

- l'espèce cultivée doit être partiellement à reproduction allogame c'est à dire que le pollen doit provenir d'une plante voisine (contrairement à une reproduction autogame où les plantes s'autofécondent).
- le pollen et/ou les graines doit pouvoir être transporté sur des distances importantes,
- les espèces voisines doivent fleurir à la même période.

Dans le cas du colza la méfiance doit être de rigueur car c'est une plante un tiers allogame, plusieurs espèces de la même famille botanique sont présentes dans les zones de culture et la pollinisation du colza est à la fois anémophile (par le vent) et entomophile (par les insectes). Il est donc important de déterminer la **taille des bandes tampon** à mettre en place pour **limiter la dispersion du pollen** et ceci tout en sachant bien qu'un seuil zéro n'a pu être détecté.

Des travaux sont actuellement encore en cours pour préciser :

- si la fréquence d'hybridation en condition agronomique normale est beaucoup plus faible,
- si le transgène peut être intégré de façon stable dans la plante sauvage,
- si la position initiale du transgène dans le génome de colza influence son transfert dans le génome d'une espèce voisine.

Il reste néanmoins un problème important vis à vis de l'environnement, le colza présente un égrenage important. Les graines peuvent survivent plusieurs années dans le sol. Ceci est une contrainte importante dans la gestion de cette culture. Donc parallèlement des stratégies de réduction des risques, par exemple, par introduction d'une résistance à l'égrenage ou à l'inhibition de la dormance secondaire sont en cours d'étude.

Après tous ces tests il est tout de même nécessaire de ne pas oublier les raisons de l'utilisation des OGM.

- Tout d'abord cela permet un confort de désherbage puisque les dates précises n'ont plus lieu vu l'efficacité des résistances en post levée sur toutes plantes quels que soient leurs stades.
- Mais l'usage des OGM se justifie seulement s'il y a des problèmes de désherbage non résolus ou des risques liés à l'utilisation de plusieurs produits anciens plus ou moins toxiques pour l'environnement.
- Son utilisation ne doit alors pas être abusive au point d'accumuler sur des repousses de cultures antérieures les différents gènes de résistance ce qui conduirait à ne plus pouvoir les détruire que par des herbicides spécifiques.
- De plus la diffusion aux mauvaises herbes reste toujours le danger d'un trop grand abus.

Ainsi il conviendra donc d'examiner au cas par cas les avantages et les inconvénients potentiels pour statuer sur l'intérêt de chaque espèce.[42] et [45]

#### b) Apparition d'insectes résistants aux plantes transgéniques

Le principal ravageur du maïs en France est la pyrale (le lépidoptère *Ostrinia nubilalis*), dont les différentes populations sont capables de produire une à trois générations par an suivant les régions.

A l'heure actuelle la protection des cultures de maïs est assurée par un traitement chimique mais la transgénèse a permis de créer de nouvelles variétés de maïs qui ont été transformées par des firmes privées (Novartis, Monsanto ...) pour produire dans leurs tissus la toxine Cry 1Ab de *Bacillus Thuringiensis* (Bt) active contre la pyrale du maïs.

### ➤ Les avantages des plantes résistantes aux ravageurs

Les avantages de cette dernière stratégie sont :

- pas de pollution chimique,
- la toxine n'est active que sur les insectes (pas de danger pour les mammifères et pour l'homme),
- la toxine est produite principalement dans les parties vertes de la plante, qui ne sont jamais consommées par l'homme, mais qui par contre sont en contact avec les chenilles dès leur éclosion,
- la toxine produite dans la plante est protégée des conditions climatiques défavorables,
- seule une faible perte d'efficacité insecticide du maïs est observée dans des infestations tardives (principalement dans des zones méridionales ou une forte deuxième génération de pyrales apparaît). [31], [32] et [43]

### ➤ Les inconvénients

Cette technique n'aura t'elle pas des effets non intentionnels tel que l'apparition au cours de l'évolution des populations de pyrales insensibles à la toxine ?

La recherche de résistances chez les insectes passe tout d'abord par la mise en place d'une courbe de toxicité de la toxine de Bt pour les différentes populations sauvages de pyrales, afin de définir leur niveau de sensibilité. Ainsi le suivi de cette courbe est un préalable à la recherche de résistance.

La probabilité et la vitesse de sélection d'insectes résistants dépendent de nombreux facteurs :

- du nombre de générations,
- de la concentration de la toxine dans la plante,
- de la fréquence initiale et de la "force" des éventuels gènes de résistance dans les différentes populations de pyrales,
- de la fréquence des accouplements des survivants d'un champ transgénique avec les papillons issus des champs voisins non transgéniques,
- du coût biologique d'acquisition de la résistance (femelle moins féconde, développement plus long).

Néanmoins, il faut savoir qu'une sélection en condition expérimentale pendant 26 générations n'a pas permis l'obtention d'une lignée de pyrales résistantes à la toxine botulique.

Malgré cela on a déjà remarqué l'apparition d'insectes résistants à cette toxine dans certains pays (Malaisie, Japon, Hawaii) où son application en épandage est répétée notamment en agriculture biologique, sous forme de bio-pesticide.

Il n'est donc pas impensable qu'un phénomène identique de sélection de populations de ravageurs capables de résister à l'action de cette toxine se produise en condition naturelle avec les plantes transgéniques, même si le taux de présence de cette protéine est inférieur lorsqu'elle est "intériorisée" (produite par la plante).

On peut dès lors alors organiser des plants de production incluant des zones de plantes "refuges", non transgéniques, et donc non résistantes aux insectes ravageurs qui aurait pour objet de conserver, grâce au brassage des populations d'insectes, le caractère "homozygote" d'un éventuel gène de résistance à la toxine Bt qui serait apparu chez l'insecte concerné, ce qui diminuerait sa diffusion dans l'espèce.

Il a donc été mis en place un moyen d'étude et de suivi de la sensibilité des populations de pyrales qui à l'heure actuelle n'a pas démontré de résistance (en laboratoire).

Mais s'il y avait apparition chez l'insecte d'une technique de contournement cela priverait les agriculteurs d'un moyen de lutte pratique, efficace et non polluant. Ce n'est pas pour eux que le risque environnemental serait le plus fâcheux car ils auraient toujours la possibilité de revenir à la lutte chimique actuelle tandis que la perte d'efficacité du bio-pesticide pour l'agriculture biologique serait irréparable.[32]

#### c) L'éventuel impact sur les insectes utiles comme l'abeille

Il est important de s'assurer que les plantes génétiquement modifiées (par insertion de gènes de résistance aux insectes ravageurs) ne soient pas toxiques vis à vis d'autres insectes dits "non cibles".

Les insectes "non cibles" sont ceux qui ne sont pas visés par la modification génétique qu'a subi la plante, c'est à dire ceux qui ne sont pas considérés comme ravageurs et qui peuvent même être bénéfiques pour l'environnement, d'où leur nom d'insectes "utiles". Ces insectes pouvant être les abeilles, des vers de terre ou des coccinelles par exemple.

Des études portant sur les colzas résistants aux coléoptères ont été menées à l'INRA afin d'étudier les effets sur la mortalité et le comportement de butinage des abeilles. Ainsi il est possible d'évaluer l'influence de la plante sur le changement de métabolisme de l'insecte.

Ces études ont permis de déterminer que les colzas transgéniques exprimant des inhibiteurs de protéases, capables de perturber la digestion des coléoptères (principaux ravageurs du colza) et de provoquer des retards de développement et/ou une mortalité larvaire accrue, n'affectaient pas le comportement des abeilles du fait de l'absence d'inhibiteurs de protéases dans le nectar et le pollen.

De plus, ces travaux permettent de disposer d'une gamme d'essais biologiques qui pourront servir à évaluer l'impact sur les abeilles d'autres molécules à action insecticide. [15]

#### d) Modification des pratiques agricoles

Des plantes rendues résistantes à des insectes, à des herbicides et donc nécessitant moins d'interventions au champ devraient en principe simplifier le travail de l'agriculteur.

Il convient tout de même de s'interroger sur les ajustements qui seront nécessaires au plan des pratiques agricoles pour que ces nouvelles variétés expriment pleinement leurs spécificités.

L'agriculteur devra tout d'abord veiller à la traçabilité des OGM. Pour lui, le problème n'est pas dans l'isolement des récoltes transgéniques ; car ils sont déjà habitués à séparer leurs variétés de blés ou d'orges pour la commercialisation, mais plutôt dans la capacité à garantir aux acheteurs qu'un produit ne sera pas transgénique.

Pour des espèces telles que colza, maïs ou tournesol dont on récolte un grain issu d'une fécondation au moins partiellement allogame, il sera difficile de garantir qu'une parcelle voisine ou des repousses transgéniques situées dans le champs ou en bordure n'ont pas contribué à la fécondation.

Pour éviter la dissémination il est donc tout d'abord utile de maîtriser les repousses.

Les repousses, issues de graines tombées au sol avant ou lors de la récolte peuvent polluer de leur pollen les parcelles voisines ou affecter la qualité de la récolte dans la même parcelle. Ceci pourrait être un frein à la simplification du travail du sol car dans ces cas là le déchaumage (retourner la terre) sera indispensable pour favoriser la germination des graines laissées à la moisson. Il sera même parfois préférable d'effectuer plusieurs déchaumages pour faire germer la quasi-totalité des graines transgéniques avant de labourer. (Une autre solution serait d'améliorer le fonctionnement des machines de récoltes.)

Aussi pour empêcher la propagation de pollen vers les parcelles voisines, les agriculteurs, employés communaux ou services des ponts et chaussées devront procéder à une fauche précoce des bordures visant spécifiquement le colza. Cela représente encore un travail supplémentaire.

L'agencement des espèces et variétés dans l'espace devra aussi être étudié afin :

- d'éviter les risques de pollution génétique de parcelles à parcelles. Pour cela des distances d'isolement devront être définies en fonction de la distance de dissémination du pollen.
- d'éviter les risques d'homogénéité génétique au niveau du paysage qui pourrait provoquer l'émergence de populations résistantes. Pour cela un gène de résistance à un insecte ou à une maladie ne doit pas se trouver représenté sur une culture d'un large espace.

## Tableau récapitulatif

Objectifs :	Solutions :
Garantir aux acheteurs qu'un produit ne sera pas transgénique	Traçabilité " transgénique "
Eviter la dissémination et propagation du pollen vers les parcelles voisines	Maîtriser les repousses : <ul style="list-style-type: none"> <li>• déchaumage du sol</li> <li>• fauche précoce des bordures</li> </ul>

Enfin, les stratégies "tout chimique" ou "tout transgénique" doivent se substituer à une association des deux pratiques qui pour garantir l'efficacité des résistances doit réunir l'organisation des cultures dans l'espace, la gestion des haies et bordures, la lutte chimique raisonnée et localisée et des itinéraires techniques et appropriés.

### e) Risque de réduction de la biodiversité

Certains auteurs estiment que la diffusion des biotechnologies pourrait renforcer la tendance, déjà présente dans nos agricultures, à l'appauvrissement de la diversité génétique, par la possibilité de conférer un même gène à de nombreuses espèces. Cet appauvrissement de la diversité serait un facteur de vulnérabilité accrue des cultures.

Notons que d'autres pensent, au contraire, que le génie génétique peut être un moyen d'accroître la diversité génétique, en créant à partir de la même structure végétale différentes plantes ayant chacune des spécificités propres, grâce à l'apport de nouveaux gènes. [31]

### f) L'impact sur la rhizosphère

La rhizosphère est la partie du sol qui est située dans l'environnement immédiat des racines des plantes. Elle est très riche en micro-organismes et en substances biologiques.

Il ne peut être exclu que soit démontré un jour un impact des plantes modifiées sur cet environnement sub-terrestre. Néanmoins, tout biotope, y compris la rhizosphère, est un milieu évolutif. Les populations de micro-organismes, par exemple, y évoluent de façon réversible, en fonction des hôtes présents et des conditions ambiantes. [31]

### g) Conclusion

Il n'est pas possible d'avoir une position générale sur les risques écologiques. Comme nous l'avons vu, certains " risques " sont en fait des certitudes mais existent déjà sans OGM (apparition de résistances), d'autres sont inexistantes dans certaines espèces du fait de la biologie particulière de ces espèces. Pour d'autres encore, le risque est réel, mais il faut garder en mémoire que l'agriculture telle qu'elle est pratiquée actuellement présente des risques non négligeables pour l'environnement et la santé humaine (usage incontrôlé de pesticides et

d'herbicides ...). Il faut donc en fait comparer deux risques et deux types de pratiques agricoles : *traitement* insecticide (agriculture " traditionnelle ") et *production de l'insecticide par les plantes*.

## 2. Les risques pour la santé

Comme pour ceux concernant l'environnement, les risques de consommation d'OGM chez l'homme restent encore théoriques car il n'existe aucun recul, vu le caractère récent de cette consommation. De nombreuses recherches sont effectuées pour recenser les risques " potentiels ". Cependant, cette recherche limitée, sans recul, ne peut suffire pour rassurer le consommateur en Europe, touché récemment par l'apparition de la maladie de Kreutzfeld Jacob (maladie de la Vache Folle). 63 % de sondés pensent que la consommation d'OGM possède un caractère dangereux. Il est donc primordial que les recherches s'accélèrent afin d'évaluer les véritables risques.

### a) Le risque des gènes de résistance aux antibiotiques

Les résistances aux antibiotiques chez les bactéries pathogènes pour l'homme se répandent de nos jours et constituent un problème alarmant en médecine, amplifié par la sur prescription des antibiotiques et leur utilisation dans l'alimentation des animaux d'élevage comme promoteurs de croissance.

On redoute que les plantes transgéniques n'aggravent ce phénomène. En effet, leur génome contient des gènes bactériens de résistance aux antibiotiques. Ces gènes utilisés comme marqueurs de sélection sont des résidus de la construction génétique et n'ont aucune utilité dans la plante elle-même.

Ils pourraient être transférés, soit aux bactéries colonisant le tube digestif animal ou humain, soit aux bactéries du sol, leur transmettant ainsi le caractère de résistance à des antibiotiques majeurs, allongeant ainsi la liste des antibiotiques devenus inefficaces. Par exemple l'utilisation d'un gène de résistance à l'amikacine est préoccupante, car il s'agit d'un antibiotique majeur, que l'on réserve à certaines infections humaines particulièrement difficiles à traiter... on imagine les problèmes si ce gène est transféré à d'autres organismes responsables de ces maladies. Bien qu'un tel transfert génétique entre plantes et bactéries n'ait jamais été reproduit expérimentalement, il reste possible selon plusieurs études. Plusieurs firmes agro-industrielles avancent que les gènes de résistances aux antibiotiques ne posent pas de problèmes puisqu'ils seraient, de toute façon, déjà présents chez la plupart des bactéries pathogènes. D'une part, cet argument est contredit par le simple fait que les pénicillines ont par exemple été prescrites 12 millions de fois en Allemagne en 1996. D'autre part, plusieurs résultats de recherches démentent cette argumentation. Le maïs transgénique de la firme Novartis, autorisé en France depuis novembre 1997, contient un gène de résistance aux pénicillines. Cette autorisation a été provisoirement suspendue, entre autres, à cause de ce caractère. La consommation des plantes transgéniques pourrait donc être dangereuse pour la santé animale et humaine.

Il est donc indispensable de remplacer ces techniques de transgénèse obsolètes par des techniques n'utilisant pas des gènes de résistance à des

antibiotiques, ne serait ce que pour respecter le principe de précaution. Cela est tout de même à nuancer puisque de nouvelles techniques sont actuellement développées : les gènes de résistance y sont soit éliminés après la construction génétique, soit remplacés par des caractères sélectifs dont l'innocuité est prouvée. [32]

#### b) L'accumulation de certains herbicides dans la chaîne alimentaire

La toxicité à long terme des résidus d'herbicides peut s'accumuler dans la chaîne alimentaire. En effet, la majorité des plantes transgéniques sont modifiées pour les rendre tolérantes à des herbicides totaux. Lorsqu'une plante est naturellement résistante à un herbicide, elle va le métaboliser, c'est à dire le détruire complètement et il n'en restera plus aucune trace. Mais lorsque la plante est rendue résistante à un herbicide, le problème est en fait tout autre :

- Soit ces plantes ont vu leur patrimoine génétique modifié au niveau de l'enzyme cible de l'herbicide (probablement la forme du site actif a-t-elle été modifiée). L'herbicide ne peut donc plus agir sur la plante mais le problème réside dans le fait que la plante est alors incapable de métaboliser l'herbicide et que celui-ci s'accumule dans les récoltes, notamment dans les zones de croissance et de réserve puisqu'il se déplace de la même manière que les produits de la photosynthèse. C'est le cas des plantes résistantes au glyphosate comme par exemple le Round Up dont on connaît le caractère mutagène et cancérigène ou le Basta dont le caractère neurotoxique est démontré.
- Soit la résistance est due à l'introduction d'un gène de métabolisation bactérien et dans ce cas, l'herbicide sera éliminé. C'est le cas pour les plantes transgéniques résistantes aux herbicides déjà utilisée dans certains pays comme par exemple les plantes résistantes au glufosinate (matière active de désherbants totaux) : cette fois les plantes transforment l'herbicide en un métabolite qui s'accumulera dans les récoltes. Mais se pose alors un problème d'homologation des herbicides totaux qui ne l'étaient alors que pour les bordures de chemin, n'étant pas utilisés dans les champs. Cette ré-homologation consiste en l'évaluation des risques de résidus a l'intérieur des plantes destinées à la consommation.

#### c) Les risques d'allergie

La commercialisation des premières plantes transgéniques s'accompagne d'un vaste débat d'idées et de passions. Le risque éventuel pour la santé publique, et notamment le développement d'allergies, que pourrait faire courir la consommation d'OGM ou des produits qui en sont dérivés, est souvent mis en avant.

En fait, ce risque n'est pas propre aux OGM : dès lors qu'une protéine est ingérée, un risque allergique peut être suspecté. Peut-on le prévoir ou l'estimer ?

Malheureusement, la FDA a donné son aval à des tests de survie gastrique et intestinale correspondant « au meilleur cas », alors que la capacité digestive des très jeunes enfants, des personnes âgées et des sujets achlorhydriques est souvent altérée, de sorte que la protéine peut survivre. On estime que 1% à 2% des adultes et 6% des enfants sont allergiques à l'un des huit groupes d'aliments allergéniques (crustacés, noix, œufs, poissons, lait, arachides, soja et blé). Les PGM (Plantes Génétiquement Modifiées) risquent-elles d'aggraver ces chiffres ?

Malheureusement, quelle que soit la protéine, il est probable que l'on trouve dans toute population un peu nombreuse, une ou plusieurs personnes qui y sont allergiques. Cela est apparu incontournable lorsqu'une protéine de graine de tournesol, que l'on envisageait de substituer à une protéine allergénique des noix de cajou, et qui avait en outre l'intérêt d'avoir une composition en acides aminés plus intéressante, a été testé sur un très grand nombre de personnes aux USA. Des réactions allergiques inattendues ont été observées, alors que la graine de tournesol n'avait jamais été jusqu'alors considérée comme allergisante. De plus, les techniques actuelles ne permettent pas d'évaluer le risque d'allergie de manière fiable et objective.

Autre souci : beaucoup des gènes de résistance aux insectes que l'on cherche actuellement à introduire dans des plantes expérimentales agissent en perturbant les fonctions digestives du parasite. Or certains des inhibiteurs enzymatiques et lectines sur lesquels on travaille, peuvent produire des effets similaires chez les mammifères. Nombre de lectines et plusieurs inhibiteurs enzymatiques sont très résistants à l'hydrolyse dans le tube digestif et ne répondent donc pas à l'un des deux grands critères actuellement en vigueur pour éviter les protéines allergéniques.

La résistance à la dégradation permet à certaines lectines d'être absorbées et d'entrer dans le courant sanguin. Lorsque c'est le cas, il peut survenir de nombreuses altérations métaboliques, et notamment des réponses immunitaires anormales et des modifications hormonales. Avant qu'un tel produit puisse arriver sur le marché, il est indispensable de développer et de valider des techniques permettant de déceler ce type de problèmes.

#### d) Les possibles dérives

Les plantes cultivées à des fins industrielles pourraient bien constituer un danger alimentaire réel, car on envisagera forcément d'en utiliser les résidus pour l'alimentation animale. Sauf mise en place effective de procédures adéquates de gestion du risque, des produits chimiques indésirables pourraient alors entrer dans la chaîne alimentaire.

Une augmentation de la teneur en acide laurique de la viande ou du lait serait très préoccupante, car l'acide laurique est un puissant stimulant de la production de cholestérol chez l'homme. L'acide érucique est un toxique bien connu que l'on a soigneusement cherché à faire disparaître des variétés courantes de colza.

Aujourd'hui, il est au contraire surexprimé dans certaines variétés où ses concentrations sont au moins 10 fois supérieures à celles des variétés anciennes, parce qu'il est extrêmement utile dans certaines activités industrielles.

Il faut savoir que le risque sera nettement plus important si l'on fait pousser côte à côte des cultures industrielles et des plantes destinées à l'alimentation, qu'elles soient classiques ou génétiquement modifiées. Dans ces circonstances, l'expression d'un gène transféré accidentellement et codant un composé non destiné à l'alimentation pourrait avoir des effets préoccupants.

Le transfert de gènes peut engendrer des conséquences involontaires dont en particulier le transfert d'allergènes, ou l'apparition de nouveaux allergènes. Un soja transgénique, contenant l'albumine 2S, s'est par exemple avéré avoir un fort potentiel allergénique, comparable à celui de la noix du Brésil dont le gène est issu (dans une société américaine Pioneer Hi Bred). Il en est de même pour la beta-lactoglobuline, un allergène majeur du lait de vache. Il a été produit à l'INRA de la beta-lactoglobuline recombinante dans une bactérie et il a été montré qu'elle possédait les mêmes propriétés allergéniques que la protéine extraite du lait. Ce risque doit être évalué bien que la procédure ne soit pas encore standardisée.

## **G. CONCLUSION**

L'actualité du dossier OGM a été particulièrement riche ces dernières années. En France, la communauté scientifique se divise quand elle ne s'affronte pas par pétitions et contre-pétitions.

Face à des éléments en apparence contradictoires, le citoyen consommateur peine à faire ses choix, ce qui nourrit une forme d'inquiétude sourde. La Commission d'information du Sénat sur les OGM soutient que la recherche sur ce sujet menée dans le plein respect du cadre légal ne doit pas être entravée. La recherche sur les OGM est absolument essentielle à notre pays, et même surtout si nous voulions demain décider collectivement d'interdire tout recours à ces technologies. Si notre pays ne développe pas les biotechnologies, non seulement nous nous couperons d'un champ d'innovation considérable, mais encore nous ne serons même plus en mesure d'analyser et d'évaluer les produits que nous importerons.

## **CONCLUSION**

La sécurité sanitaire n'a jamais été plus au cœur des débats qu'aujourd'hui. Chacun est en effet soucieux des impacts que pourraient avoir son alimentation, l'air qu'il respire ou l'environnement sur sa propre santé ou celle de ses enfants

La diminution de l'emploi des produits phytosanitaires présente, en particulier, un objectif pour les décennies à venir. Le renforcement de la réglementation, un soutien aux agriculteurs désireux de repenser leur méthodes de travail et une prise de conscience individuelle s'imposent pour orienter la production végétale vers des modes de culture plus respectueux de l'environnement et ainsi de la santé.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1. CLERMONT-DAUPHIN C. et MEYNARD J-M.**  
L'emploi des pesticides et des engrais en agriculture  
INRA Editions, 1998, p175-186
- 2. CALVET Raoul**  
Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales  
France Agricole, juin 2005
- 3. DEVILLIERS R.**  
Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides  
TEC et DOC, mai 2004
- 4. Rapport de la MCE (Maison de la Consommation et de l'Environnement)**  
Les Pesticides : Réglementation et Effets sur la santé et l'environnement.  
Février 2003
- 5. BARBERIS A.**  
Législation sur l'homologation des pesticides  
FAO, Etude législative n°51, 2001
- 6. RAINELLI P.**  
Le programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole  
Réseau agriculture durable, Rennes, 1998, p 56-66
- 7. BOSCH L.**  
Engrenage des pesticides  
Payot Lausanne, 1986
- 8. Rapport du Comité de la prévention et de la précaution remis en 2004 au  
Ministère de l'Ecologie**  
(Adresse Internet : [www1.environnement.gouv.fr/article.ph3?id\\_article=1827](http://www1.environnement.gouv.fr/article.ph3?id_article=1827))
- 9. MOSES Marion (Pesticide Education Center)**  
Pesticides and Reproduction
- 10. LEDOUAR Jean**  
Des pesticides sous haute surveillance  
Interview de Laurent Lagadic (Institut national de la recherche agronomique Rennes)  
Archives de Ouest-France, le 30 octobre 2003
- 11. BARRIUSO E.**  
Dégradation ou accumulation : que deviennent les pesticides dans les sols ?  
INRA Mensuel, 2000, n°107, p 4-5
- 12. BERARD A.**  
Pesticides, quels sont les risques ?  
Aqua Revue, 1994, vol.53, p 12-15

**13. Collectif**

Nitrates, alimentation et santé  
Arvalis, mars 2003

**14. BELZUNCES L-P.**

Effets des doses sublétales des pesticides chez deux types d'invertébrés  
INRA, Paris, 1999

**15. LOUVEAUX J.**

Les traitements phytosanitaires et les insectes pollinisateurs  
1984, p. 565-575

**16. AUVRAY M.**

Etude de l'impact de divers pesticides sur l'abeille domestique *Apis mellifera*  
Université Paris 11<sup>ème</sup>, 1998, p.1-17

**17. PESSON et LOUVEAUX J.**

Pollinisation et productions végétales.  
INRA, Paris, 1994

**18. SABIK H.**

Analyse de traces de pesticides organiques : intérêt, méthodologie, exemples.  
Thèse de doctorat en chimie. Université d'Angers, juin 1991.

**19. Séverine Suchail, Luc P. Belzunces et Bernard E. Vaissières**

Toxicité subchronique de l'imidaclopride et de ses métabolites chez l'abeille domestique *Apis mellifera*.  
Revue L'Abeille de France, Février 2004

**20. BELLMAN H.**

Guide des abeilles, bourdons, guêpes et fourmis d'Europe  
Delachaux et Niestlé, 1999, 20-25

**21. TASEI J.-N.**

Impact des pesticides sur les abeilles et les autres pollinisateurs.  
INRA, Laboratoire de Zoologie, Lusignan

**22. CHAUVIN R.**

Traité de biologie de l'abeille  
Editions du Rocher, 1999, L'énigme des abeilles, p.42-59

**23. Rapport de l'AFSSA**

Etude expérimentale de la toxicité de l'imidaclopride distribué dans le sirop de nourrisseurs à des colonies d'abeilles (*Apis mellifera*)- J-P. Faucon *et al.*  
Version du 24 février 2004

**24. CARPENTIER A. et RAINELLI P.**

Agriculture, pesticides et environnement, quelles politiques ?  
OCDE, Paris, 1997, p.71-104

**25. BONNY S.**

L'agriculture raisonnée  
Natures Sciences Sociétés, 1997, vol.5, p.64-71

**26. ENITA**

Agriculture biologique  
Synthèse agricole, 2003

**27. DESBROSSES Philippe**

L'agriculture biologique  
Alphée, 2006

**28. Documentation Française**

L'agriculture biologique française, chiffres 2004  
Documentation française, 2005

**29. GICQUEL Joseph**

Se former à l'agriculture biologique  
Educagri, 2000

**30. GUET Gabriel**

Mémento d'agriculture biologique  
France agricole, 2003

**31. DOUSSINAULT Gérard**

Quelle est la place de la transgénèse dans l'amélioration des plantes ?  
Unité d'Amélioration des Plantes, INRA Rennes 2001

**32. WALTER Bernard**

Protection des cultures : que peut apporter la transgénèse ?  
Unité de recherches Vigne et Vin INRA Colmar 2001

**33. RIBA Guy**

La transgénèse, une voie alternative à la lutte chimique pour la protection des plantes.  
Directeur Scientifique, Plantes et Produits du Végétal, INRA Paris 2000

**34. CHEVRE Anne-Marie, EBER Frédérique, BERNARD Michel**

Plantes génétiquement transformées : quels risques de dissémination de gènes dans  
l'environnement ?  
Station d'Amélioration des Plantes, INRA Rennes 2002

**35. WAL J-M, THIS H. et PASCAL G.**

Aliments issus ou constitués d'OGM : évaluations de leur innocuité  
Médecine Légale Hospitalière, 2000, vol.3, p.111-115

**36. GERARD Pascal**

Comment évaluer la sécurité des aliments issus de plantes transgéniques  
Directeur Scientifique, Nutrition Humaine, Sécurité Alimentaire, INRA Paris

## **Sites Internet :**

### **37. Site du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche**

Adresse : [www.agriculture.gouv.fr](http://www.agriculture.gouv.fr)

### **38. Site Internet de l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments)**

Adresse : [www.afssa.fr](http://www.afssa.fr)

### **39. Site Internet de l'INRA**

Adresse : [www.inra.fr](http://www.inra.fr)

### **40. Site Internet Notre Planète Info**

Adresse : [www.notre-planete.info.fr](http://www.notre-planete.info.fr)

### **41. Site Internet de la confédération paysanne**

Adresse : [www.confederationpaysanne.fr](http://www.confederationpaysanne.fr)

### **42. Site Internet du mouvement pour les Droits et le Respect des Générations Futures (MDRGF)**

Adresse : [www.mdrgf.org](http://www.mdrgf.org)

### **43. Site Internet OGM-Info**

Adresse : [www.ogm-info.com](http://www.ogm-info.com)

### **44. Site Internet de la Maison de la Consommation et de l'Environnement**

Adresse : [www.mce-info.org](http://www.mce-info.org)

### **45. Site Internet de l'association Greenpeace**

Adresse: [www.greenpeace.fr](http://www.greenpeace.fr)

BELLIOT Stéphanie

## PRODUCTIONS VEGETALES : ETUDE DES ADJUVANTS AGRICOLES, SECURITE SANITAIRE ET ALTERNATIVES

### RESUME

L'utilisation abusive des adjuvants en l'agriculture depuis plusieurs décennies a soulevée des inquiétudes : leur accumulation dans l'environnement ainsi que leurs effets sur la santé (animale et humaine) sont aujourd'hui au cœur des débats. Après avoir présenté ces adjuvants, la législation qui les encadre, nous exposerons leurs effets généraux sur la santé.

L'étude de la toxicité (sur les abeilles, par exemple) d'un produit phytosanitaire constitue un travail complexe comme l'illustre celle de l'imidaclopride utilisé en enrobage des semences.

Les inquiétudes soulevées par l'utilisation de ces substances ont modifié les pratiques agricoles depuis plusieurs années. Des méthodes alternatives de cultures (comme l'agriculture raisonnée ou biologique) se sont développées pour réduire l'emploi des produits phytosanitaires. Les organismes génétiquement modifiés sont aussi mis en avant pour limiter l'utilisation d'intrants.

### MOTS CLES

-PHYTOSANITAIRES  
-SECURITE SANITAIRE  
-IMIDACLOPRIDE

-AGRICULTURE BIOLOGIQUE  
-OGM

### JURY

PRESIDENT : M. Marc LE BORGNE, Maître de Conférence de Chimie  
Thérapeutique. Faculté de Pharmacie de Nantes

ASSESEURS : M. Patrice LE PAPE, Maître de Conférence de Parasitologie  
et Mycologie. Faculté de Pharmacie de Nantes  
M. Guillaume LE BAUT, Professeur Emérite

### Adresse de l'auteur

2 rue des Rochettes  
44000 NANTES