Les processus de transfert des pesticides dans les sols : déterminants et pistes d'actions

Pierre Benoit, Laure Mamy, Enrique Barriuso

UMR1402

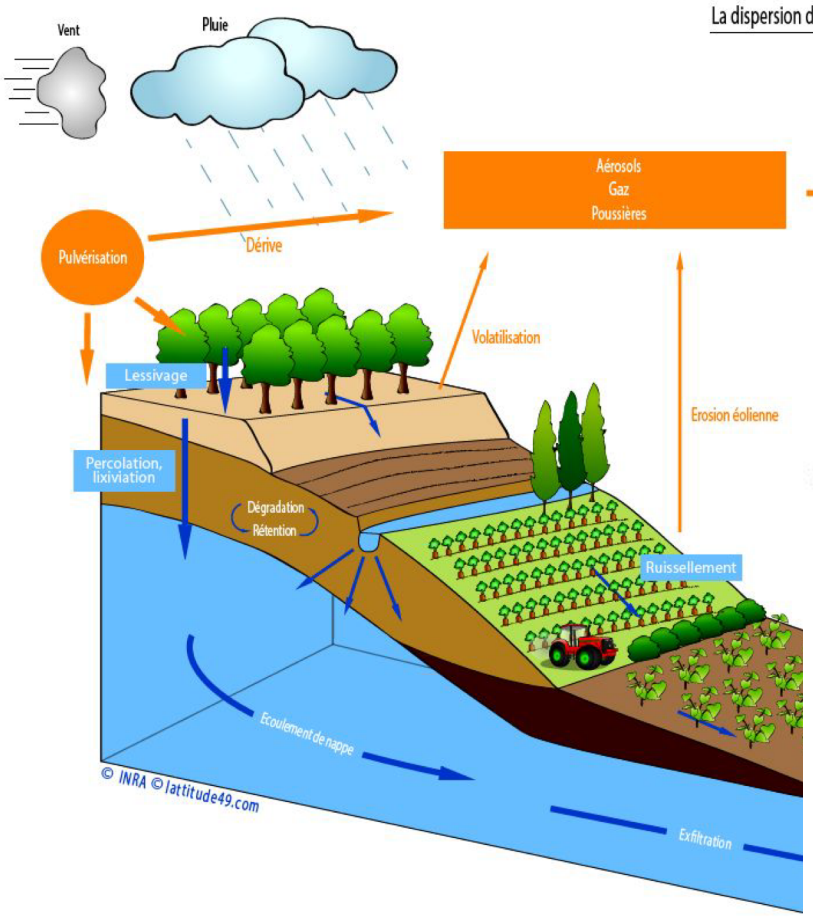
Ecologie Fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes

INRAE, AGROPARISTECH



pierre.benoit@inrae.fr

Devenir environnemental des pesticides



Sol = Interface clef

Déterminisme des facteurs d'exposition - disponibilité

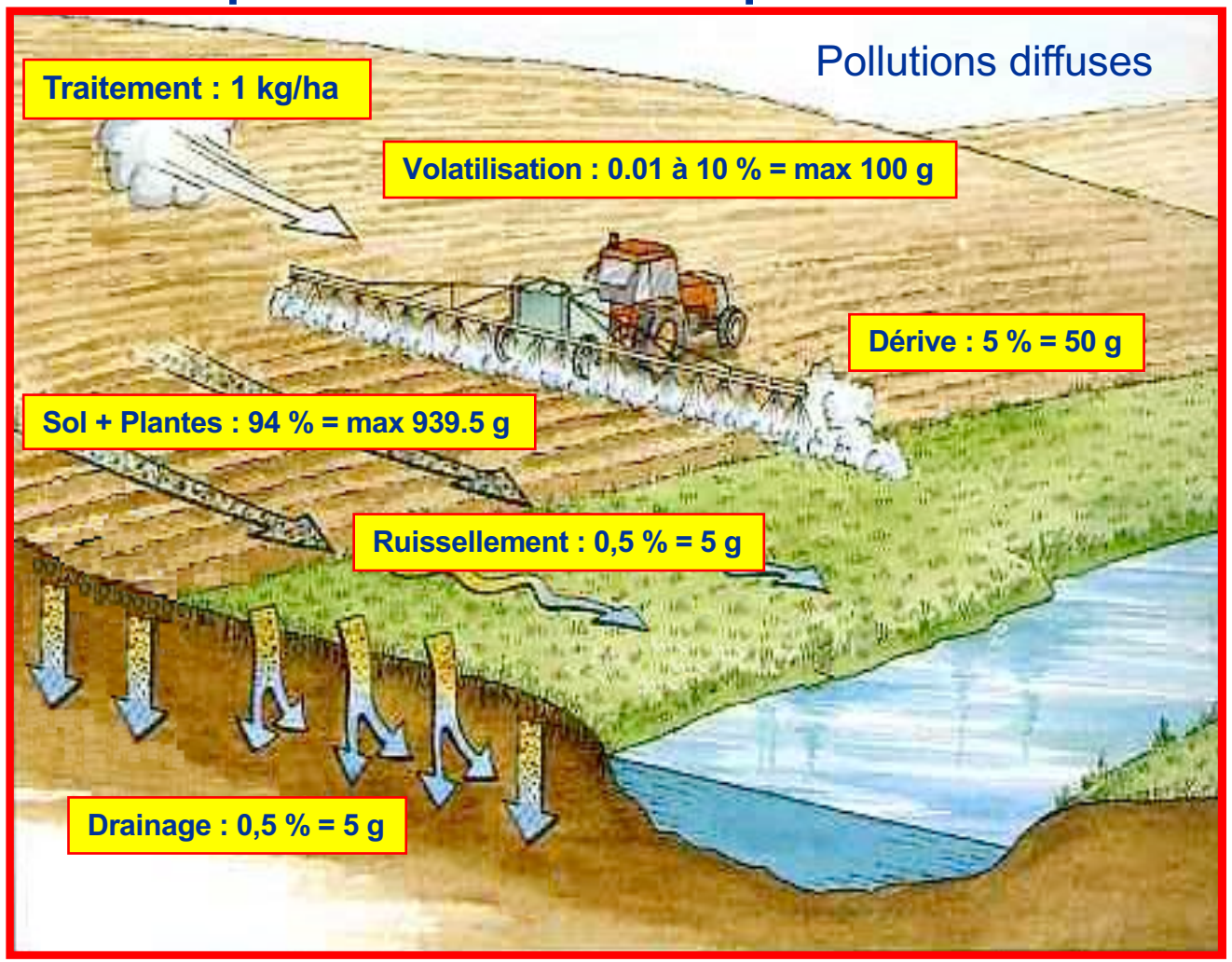
= *f* (Application) - *f'* (Transformation, Rétention) - *f''* (Transport)

Phénomènes	TRANSFORMATION	RETENTION	TRANSPORT
ABIOTIQUES	Photolyse Catalyse	ADSORPTION/DESORPTION Précipitation → Solubilisation / Sublimation Réaction de coordination	LIXIVIATION Lessivage RUISSELLEMENT Erosion VOLATILISATION
BIOLOGIQUES	METABOLISME	Absorption → Plante / Microflore	Culture Faune

Deux démarches complémentaires
Determinisme de la disponibilté
Evaluation des voies de transferts

Transferts : quels ordres de grandeurs ?

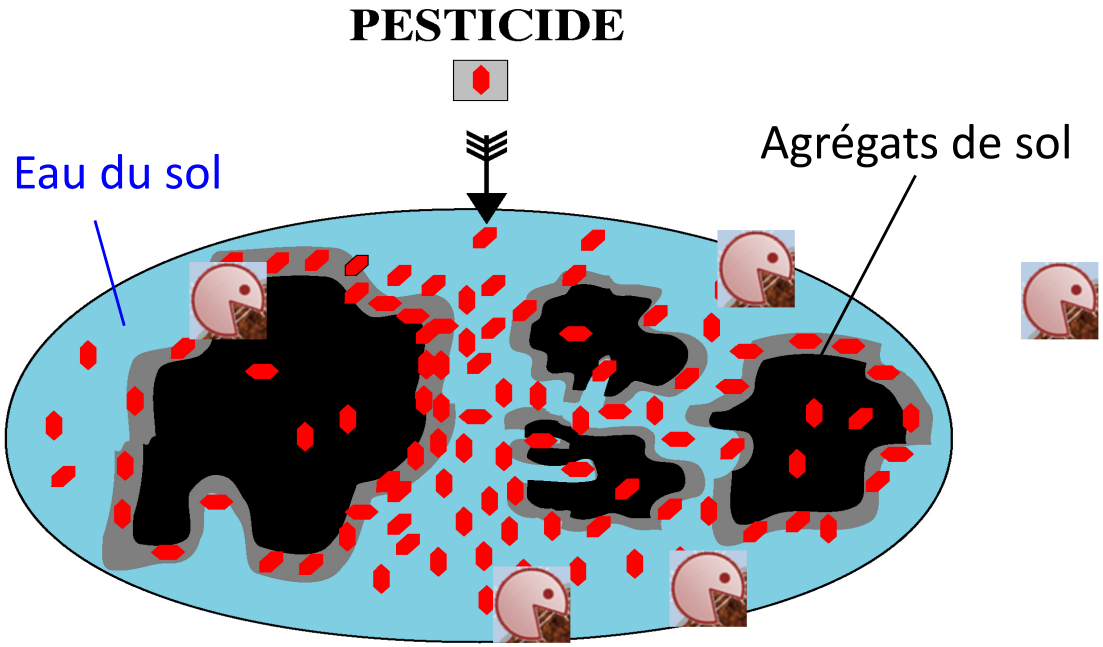
Flux de pesticides dans une parcelle traitée



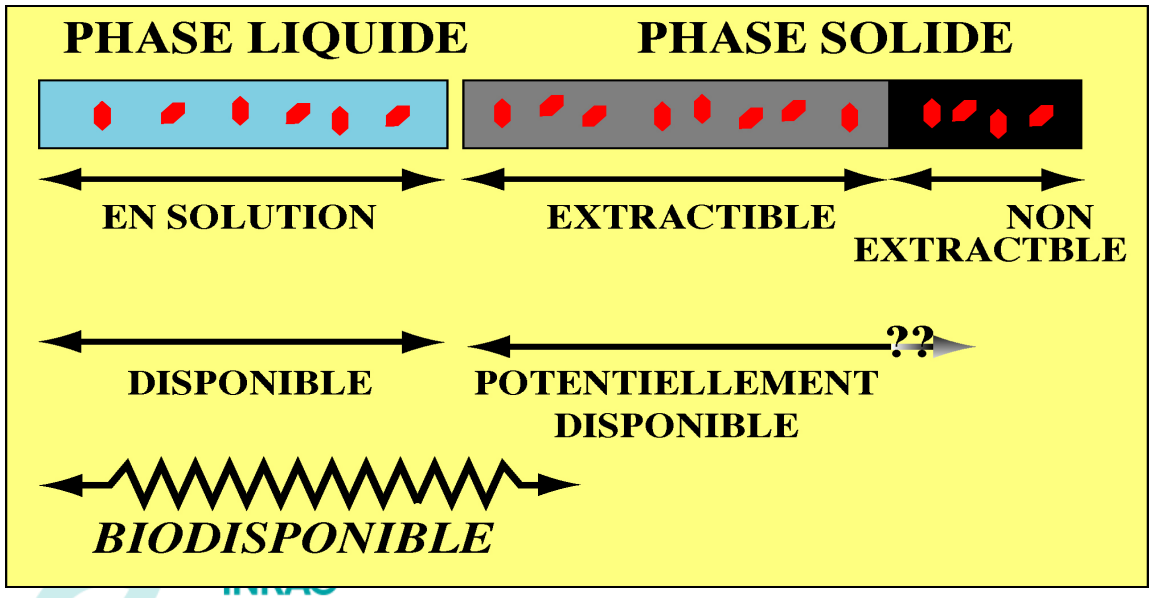
Sol = Interface clef

- **devenir et effets**
- **voies d'exposition des autres milieux**

Concentrations : totales ou disponibles



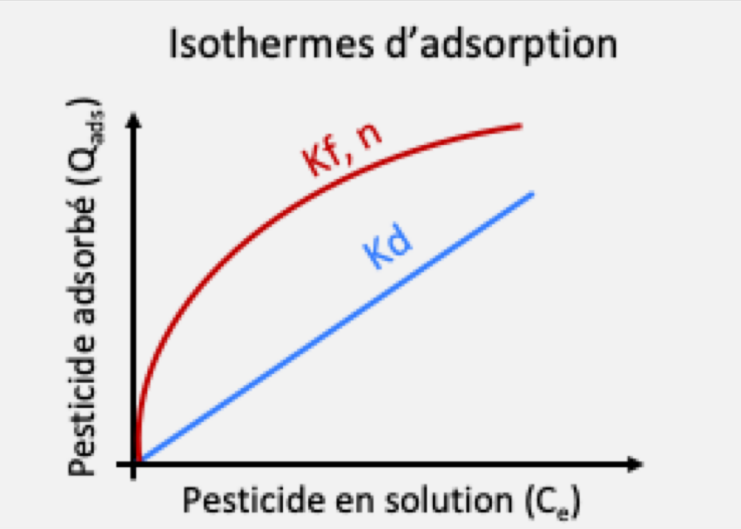
Microorganismes capables de dégrader les pesticides



Barriuso et al., 1996

Mobilité des pesticides - A retenir :

- Plus le coefficient Kd ou Koc est grand plus la rétention des pesticides est importante et moins ils sont mobiles dans les sols



Coefficients d'adsorption

Linéaire $Kd = Q_{ads} / C_e$ (L kg^{-1})

$Koc = Kd / CO$ (L kg^{-1})

Freundlich $Kf = Q_{ads} / C_e^{n}$

- La rétention des molécules hydrophobes = peu solubles dans l'eau est majoritairement contrôlée par les matières organiques du sol. Plus celles-ci sont en quantités élevées dans les sols, plus les **substances actives** sont retenues et moins elles sont mobiles

- **MAIS** la rétention dépend aussi d'autres facteurs (pH, argiles)



Mobilité des pesticides - A retenir :

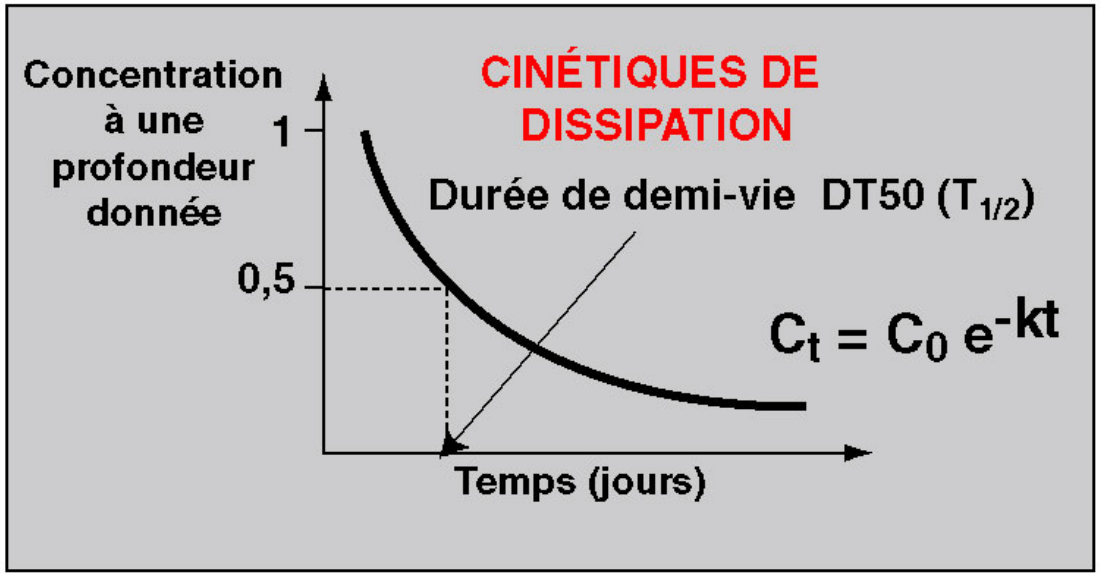
- Le Koc est utilisé comme **caractéristique des substances actives MAIS** il **varie** car il dépend de la nature des matières organiques des sols et il ne prend pas en compte d'autres facteurs influents : **argiles, cations, pH**



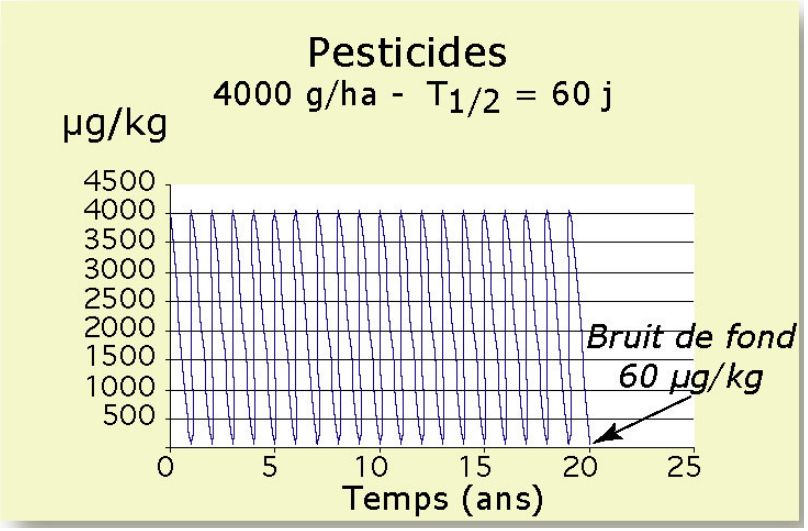
TROP FORTE SIMPLIFICATION

- Le **Koc varie** donc selon les types de sols et selon la proportion relative entre fractions organique et minérale : en conséquence **en fonction de la profondeur du sol**

Persistance des molécules - A retenir :



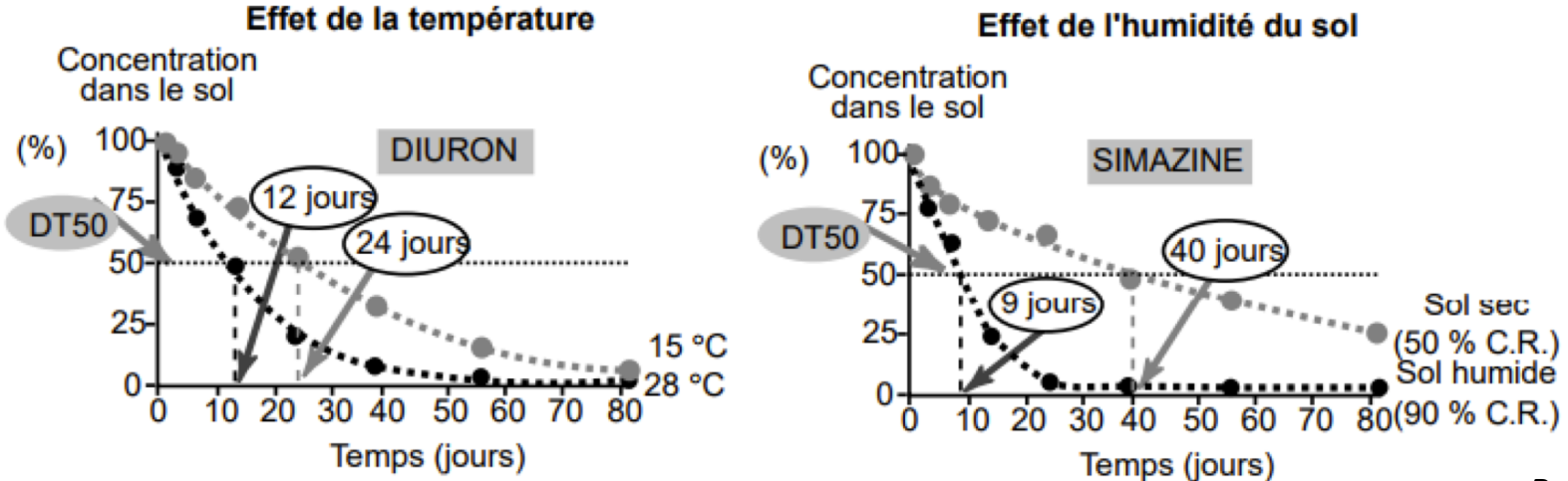
- Plus la DT50 est élevée, plus la persistance/rémanance des pesticides est importante et plus ils peuvent être transportés hors des zones de traitement



Barriuso et al., 1996

Persistance des molécules - A retenir :

- La DT50 est utilisée comme **caractéristique des substances actives**
- **MAIS** elle varie car elle dépend :
  1. Des conditions de mesures (DT50 labo ≠ DT50 champ)
  2. Des facteurs climatiques



Barriuso et al., 1996

3. Des facteurs pédologiques (qui contrôlent la biodisponibilité, et l'activité microbienne)
4. Des facteurs liés aux pratiques (fréquence d'usage)

Liens pratiques phytos et dégradation : A retenir

- **Les pratiques phytosanitaires ont un effet sur les capacités de dégradation des sols**

  1. Pression de sélection sur la microflore et des sols
  2. Bactéries du sol capables de s'adapter à la présence de certaines S.A.
  3. Conséquences sur des pertes d'efficacité
  4. Conséquences aussi sur la diminution de la persistance et la réduction des impacts si dégradation complète

- **Dégradation accélérée mise en évidence pour un grand nombre de SA**

Biodégradation accélérée et pertes d'efficacité

Table 1
Herbicides known to undergo accelerated degradation

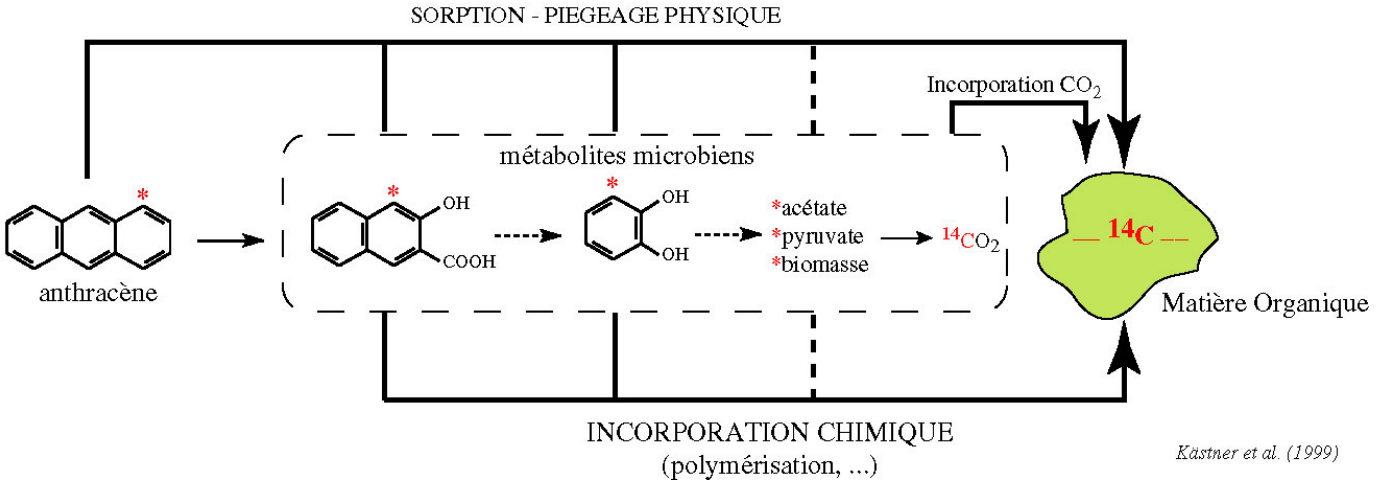
Pesticide	Loss of efficacy	Reference
2,4,-D	+	Audus (1949, 1951); Gray and Joo (1985)
Alachlor		Walker and Welch (1991)
Amitrole		Riempa (1962)
Atrazine		Barriuso and Houot (1996)
Bentazon		Wagner et al. (1996)
Butylate	+	Harvey (1987)
Carbetamide	+	Hole et al. (2001)
Chloramben		Wildung et al. (1968)
Chlorotoluron		Rouchaud et al. (2000)
Chlorsulfuron		Ravelli et al. (1997)
Dalapon	+	Leasure (1964); Gray and Joo (1985)
Diclofop-methyl		Piutti et al. (2002)
Diuron		Rouchaud, et al. (2000)
Endothall		Horowitz (1966)
EPTC	+	Rahman and James (1983)
Isoproturon	+	Bending et al. (2001); El-Sebai et al. (2005)
Isoxaben		Rouchaud et al. (1997)
Linuron		Walker and Welch (1991)
MCPA		Audus (1951)
Monolinuron		Maier-Bode and Hartel (1981)
Napropamide		Walker and Welch (1991)
Nitralin		Savage (1973)
Pendimethaline		Kulshrestha et al. (2000)
Proyzamide	+	Walker and Welch (1991); Rouchaud et al. (2000)
Pyrazon		Engvold and Jansen (1969)
Simazine	?	Albarrán et al. (2004); Suett et al. (1996a)
Terbutryn		Avidov et al. (1985)
Vernolate	+	Wilson (1984); Gray and Joo (1985)

Herbicides

Arbeli et Fuentes, 2007

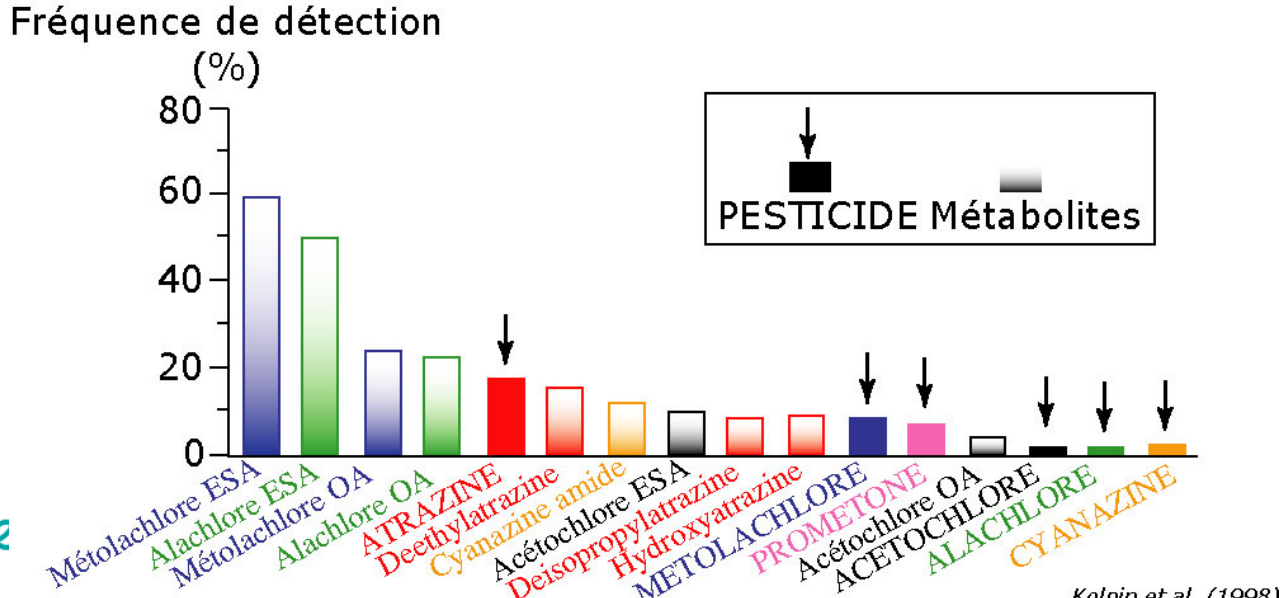
Métabolites- produits de dégradation (transformation)

- Modification de la réactivité, toxicité, ...



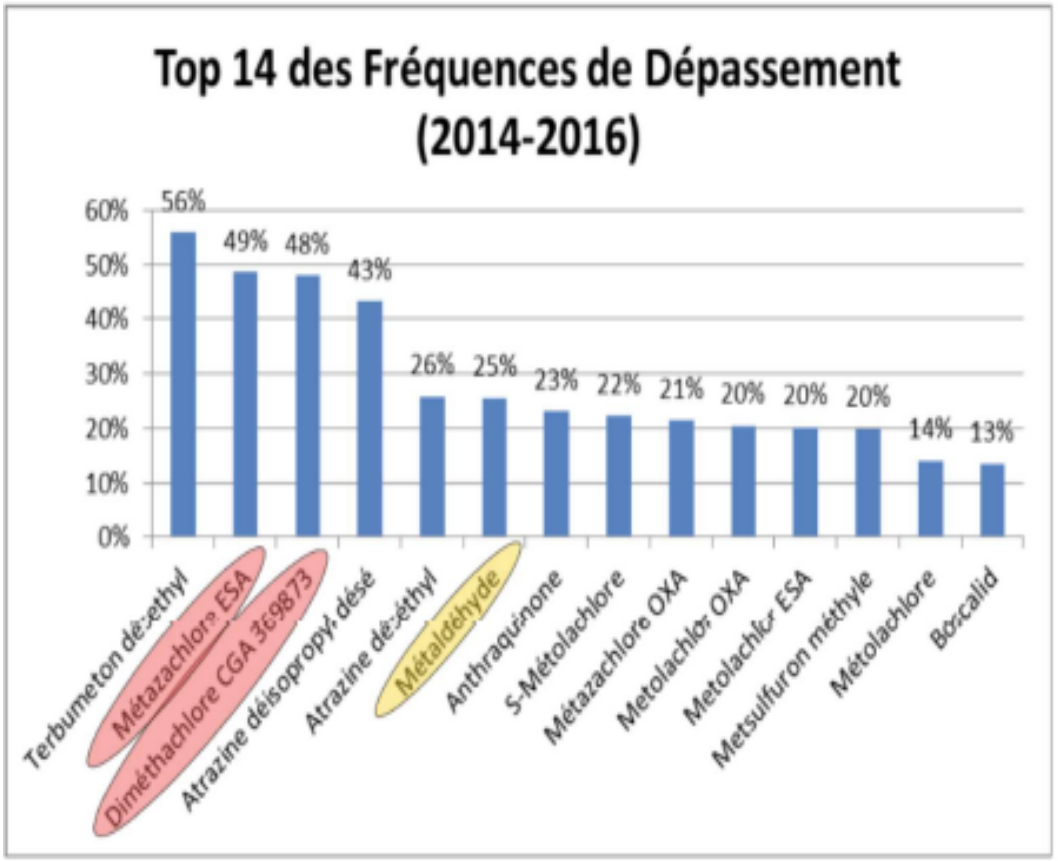
Kästner et al. (1999)

- Démultiplication des polluants



Kolpin et al. (1998)

Exemple : Captages de l'Yonne



Boscalid $DT_{50\ champ}$ 200 jours ; K_{oc} 809 l/kg

Metaldehyde $DT_{50\ champ}$ 5 jours ; Koc 85 l/kg

S-Metolachlore $DT_{50\ champ}$ 7 - 16 jours ; Koc 200 l/kg
- Metolachlor OXA DT_{50} 50 jours ; Koc 7-22 l/kg
- Metolachlor ESA DT_{50} 70 - 132 jours ; Koc 5-20 l/kg

Metazachlor $DT_{50\ champ}$ 200 jours ; Koc 134 l/kg
- Metazachlor OXA DT_{50} ; Koc 48 l/kg
- Metazachlor ESA DT_{50} ; Koc 41 l/kg

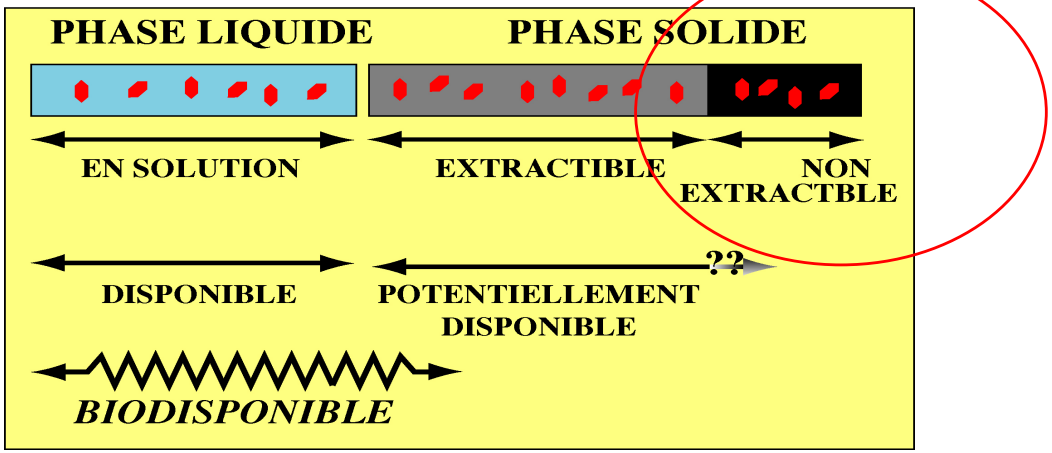
Atrazine DT_{50} 75 jours ; Koc 100 l/kg
- Desethyl- Atrazine DT_{50} 45 jours ; Koc 72 l/kg

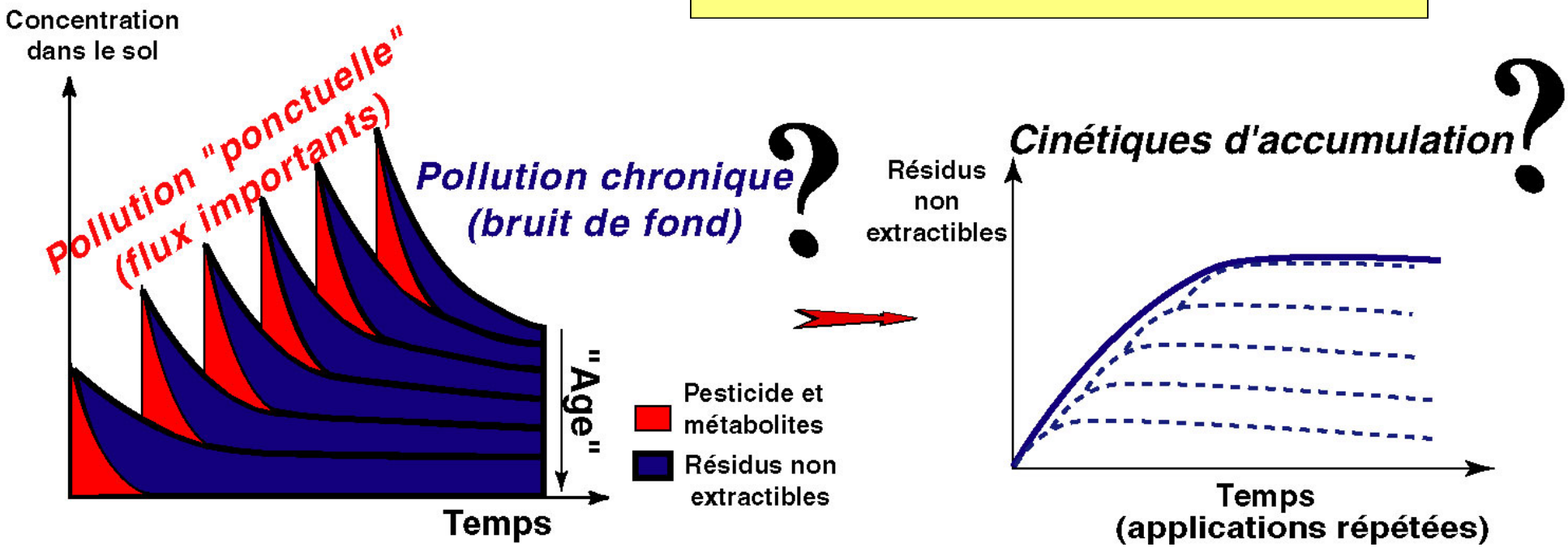
PPDB - Pesticide Properties DataBase, 2016

Certains métabolites plus persistants et/ou plus mobiles que molécules mères
- Deséthyl atrazine
- ESA et OXA metolachlor, metazachlor

La question des résidus non extractibles

Accumulation - stockage ?
Atténuation naturelle ?
Degré de réversibilité ?

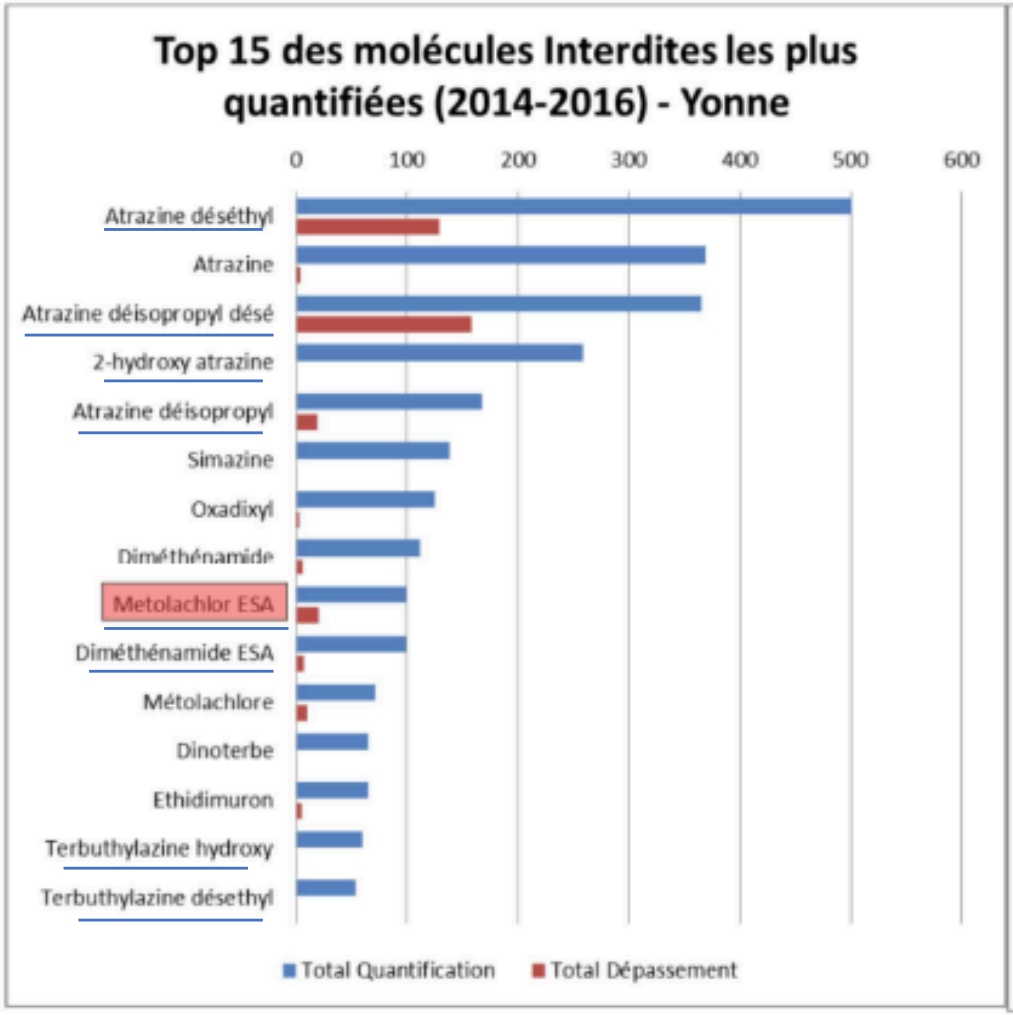


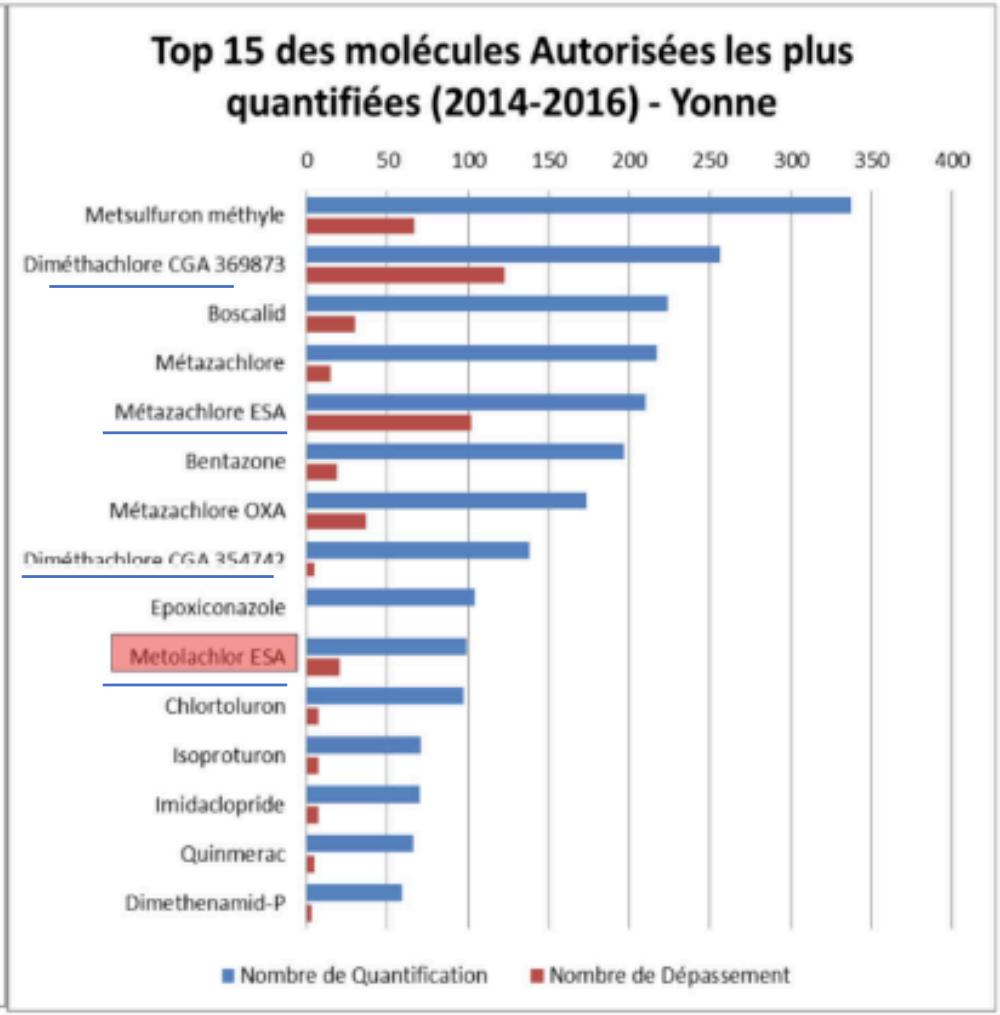


Barriuso, 1999

Des dynamiques à long terme

Taux de quantification (% des analyses réalisées pour chaque substance)





Résidus dans les sols - A retenir :

❖ Les produits de transformation (métabolites) :

1. Multiplication des contaminants
2. Toxicité, persistance et mobilité différentes
3. A prendre en considération dans l'évaluation des risques

❖ La formation de résidus non extractibles

1. Diverses origines (physique, chimique et biologique)
2. Souvent couplé aux processus de biodégradation
3. Diverses formes (SA, métabolites, C microbien)
4. Dans certains cas, à l'origine de contamination différée – exemple de produits retrouvés dans l'environnement longtemps après arrêt de leur utilisation)

Quelles pistes d'action ?

Réduire les usages (baisser les IFT) via des changements de systèmes recherchant une moindre sensibilité aux bioagresseurs

Réduire les possibilités de transferts (post application mais aussi différés dans le temps)

- Effets de l'intercalation de prairies temporaires
- Effets des couverts intermédiaires
- Effets du travail du sol
- Effets de l'allongement des rotations
- Effets d'aménagements inter-parcellaires et paysagers

Pratiques et transferts de pesticides

En grandes cultures : prairies temporaires

Une pratique courante en système de polyculture-élevage

- Effets sur les cultures
  - Diminution pression biotique par allongement des rotations

- Effets sur le sol
  - Matières organiques et cycles
  - Amélioration structure du sol
  - Activité biologique du sol, auxiliaires



- Effets sur l'environnement
  - Réduction des traitements sur plusieurs années
  - Protection contre ruissellement et érosion
  - Limitation des transferts de phytosanitaires

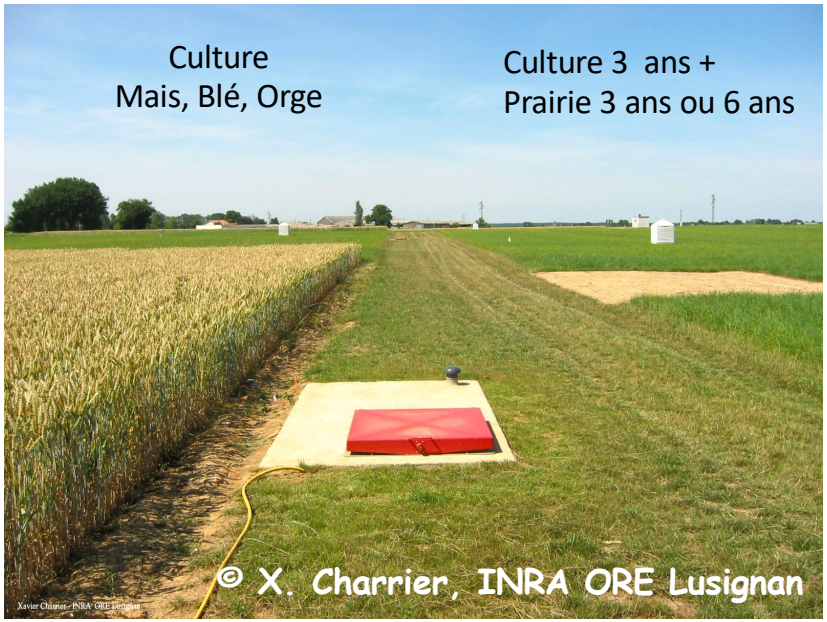
Benoit, 2010

Prairies temporaires en grandes cultures et pertes en herbicides vers les eaux souterraines

- **ORE ACBB Site de Lusignan - INRA Poitou-Charentes**
- **Comparaison de 2 modes de conduites :**







Collaboration ORE ACBB A. Chabbi, X. Charrier

Prairies temporaires en grandes cultures et pertes en herbicides vers les eaux souterraines

- **ORE ACBB Site de Lusignan - INRA Poitou-Charentes**
- **Comparaison de 2 modes de conduites :**

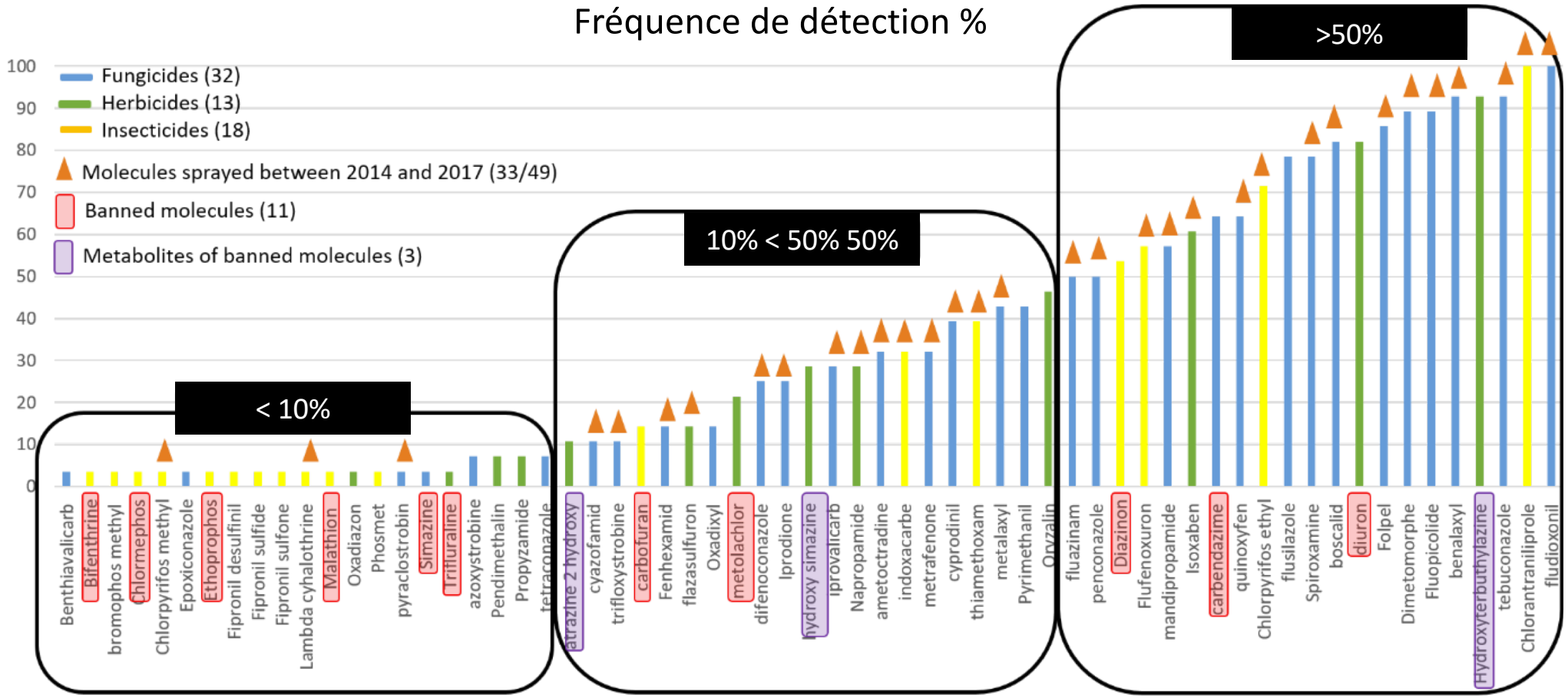
Substance	Rotation : Maïs - Blé - Orge			Cycle Culture - Prairie temporaire (N et fauche)	
	2006-2007 (orge)	2007-2008 (maïs)	2008-2009* (blé)	2007-2008 (prairie)	2008-2009 (prairie)
Isoproturon	**[0,03-20]**	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
MD-Isoproturon	**[0,05-0,18]**	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
DD-Isoproturon	**[0,05-0,07]**	**0,02**	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Diflufenican	< 0,05	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Alachlor	n.r.	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Acetochlore	n.r.	**[0,06-15,0]**	**[0,1-0,2]**	< 0,03	< 0,03
Imidaclopride	n.r.	< 0,03	n.r.	< 0,03	n.r.
Atrazine	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
OH-Atrazine	**[0,05-0,12]**	**[0,03-0,09]**	**[0,04-0,06]**	**[0,03-0,06]**	**[0,02-0,07]**

Collaboration ORE ACBB A. Chabbi, X. Charrier

Benoit, 2010

Pratiques et transferts de pesticides

En viticulture



M. Pierdet, Thèse 2020

Pratiques et transferts de pesticides

En viticulture et arboriculture : enherbement

Vignes, vergers : une pratique ancienne combinant plusieurs intérêts

- **Effets sur la vigne**
  - Contrôle de la vigueur > qualité de la vendange
  - Réduction sensibilité maladies (Botrytis) > réduction traitement fongicide

- **Effets sur le sol**
  - Activité biologique du sol, auxiliaires
  - Amélioration structure du sol, lutte contre compactage
  - Portance des engins, accessibilité des parcelles

- **Effets sur l'environnement**
  - Réduction des applications d'herbicide (interrang)
  - Protection contre ruissellement et érosion
  - Limitation des transferts de phytosanitaires



Benoit, 2010

Modes de conduite de la vigne et transferts de pesticides

4 modes de conduites en vignoble languedocien (Andrieux et al., 2007)



Désherbage chimique en plein



Enherbement naturel maîtrisé par le glyphosate



Enherbement naturel maîtrisé par un travail du sol



Engazonnement

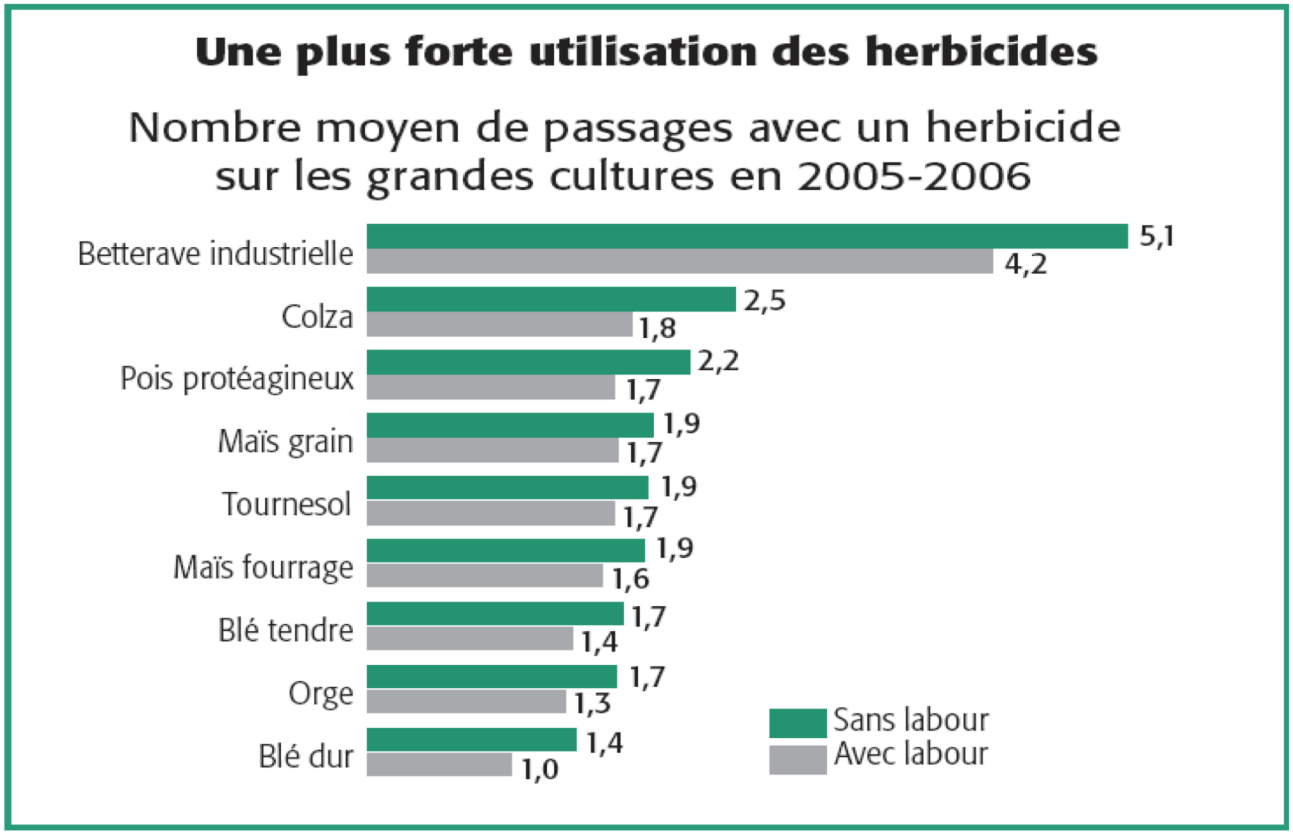
	Ruissellement (mm)	Pertes en terre (t/ha)	Pertes en glyphosate (g/ha)			Pertes en AMPA (g/ha)		
			Solution	Particulaire	Total	Solution	Particulaire	Total
1	**Désherbage chimique en plein**							
	219	9,4	30	13,8	43,8	7,7	4,4	12,1
2	**Enherbement naturel maîtrisé avec glyphosate**							
	140	3,9	23,8	8,1	31,9	4,8	1,7	6,5
3	**Enherbement naturel maîtrisé par travail du sol**							
	79	1,3	3,1	0,4	3,5	0,4	0,1	0,5
4	**Engazonnement permanent**							
	104	1,5	1,9	0,4	2,3	0,7	0,2	0,9

➡ Enherbement + travail du sol et Engazonnement ➡ Augmentation capacité infiltration sol et limitation recours aux pesticides ➡ Réduction des transferts de glyphosate

INRAE
LISAH Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème

Travail du sol et utilisation des pesticides : la situation en France

Comparaison des fréquences d'utilisation d'herbicides avec et sans labour



Source : Agreste - Enquête sur les pratiques culturales 2006

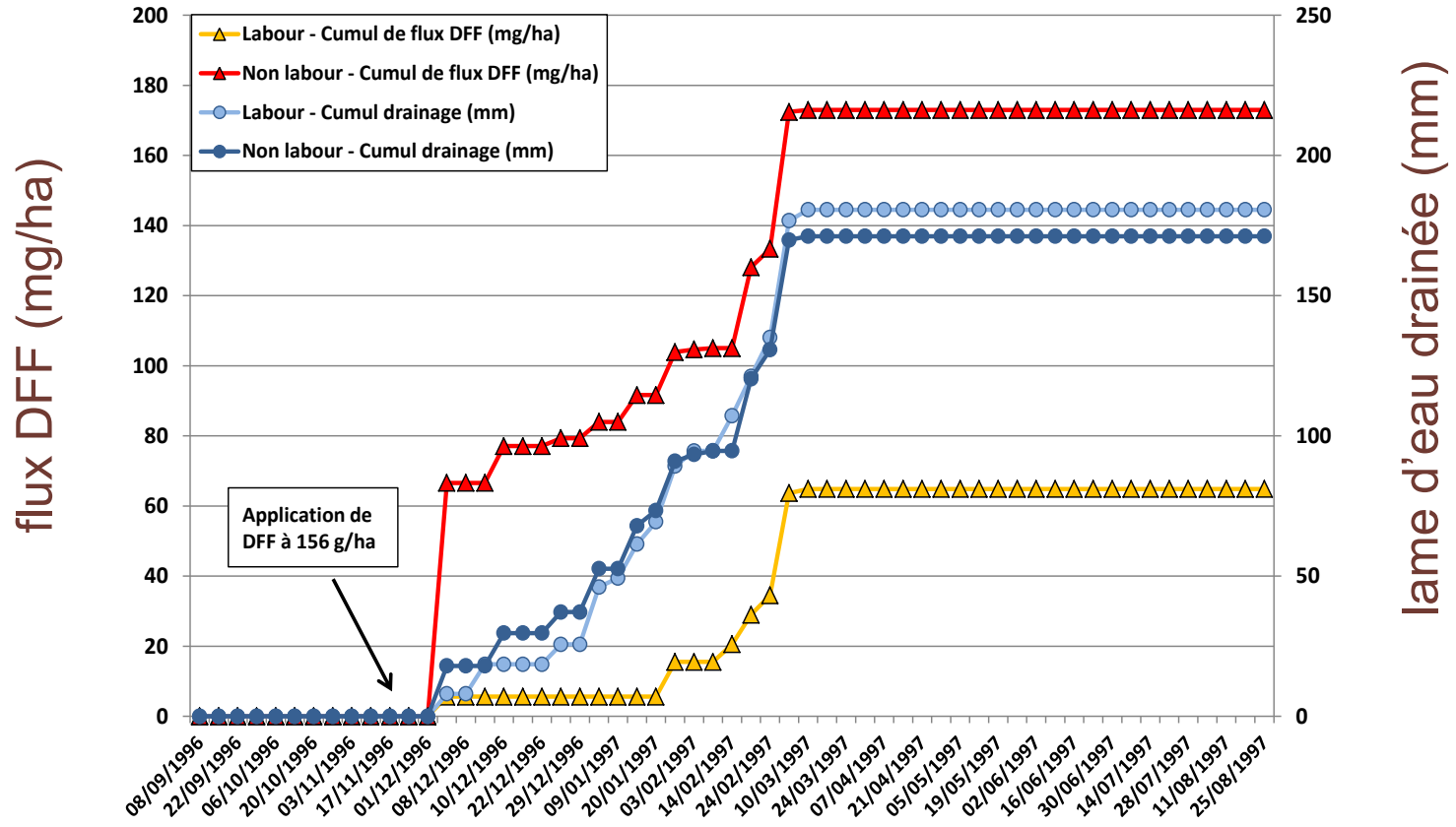
Sols agricoles drainés et travail du sol : études au champ

Drainage : Essais PCQE La Jaillière – Pays de Loire ARVALIS depuis 1993

DFF

(Quartz GT, Quetzal)

Ex : Cumul drainage et flux de DFF – 1996-97



ARVALIS Institut du végétal

Augmentation des pertes par drainage en non labour par rapport au labour

- Pics d'écoulements plus élevés en reprise de drainage
- Risque plus importants des applications d'automne sur blé
- Tarissemment plus rapide en absence de précipitation

INRAE

Effets croisés : couverts intermédiaires x travail du sol

Lixiviation : Suivi terrain 4 ans 2005-2008 - Dicétonitrile

- **Monoculture Maïs irrigué – Midi-Pyrénées**



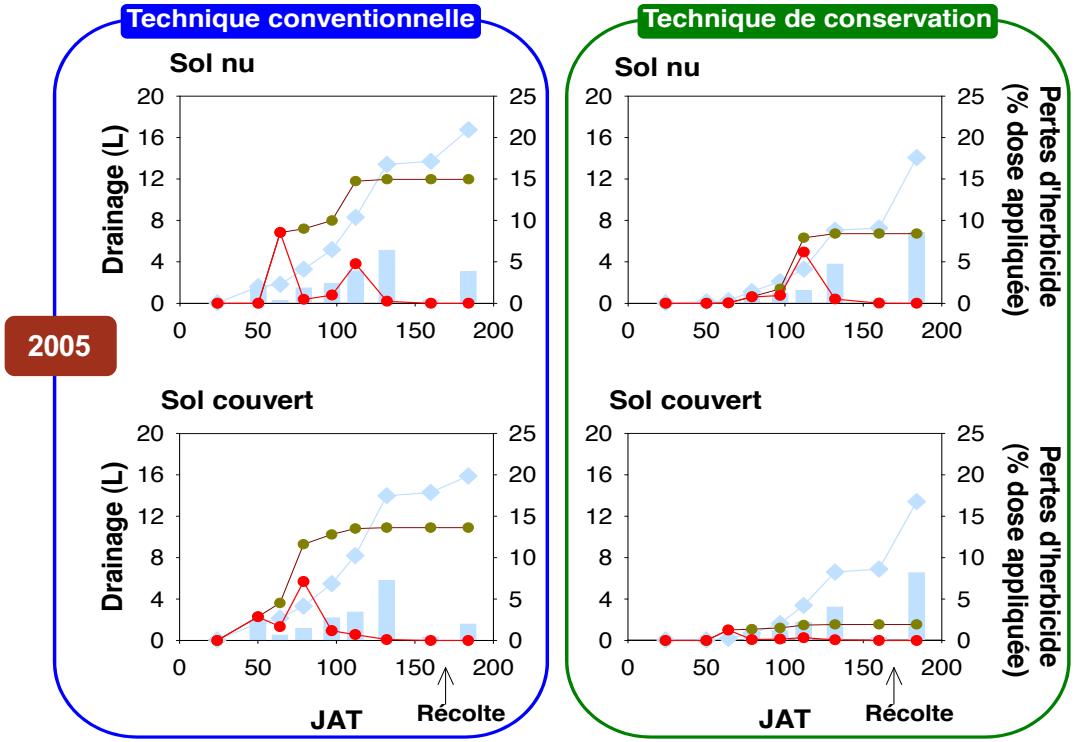


Travail du sol réduit

Facteur d'abattement (flux lixiviés) : 1,6

Travail réduit **et** Cultures intermédiaires

Facteur d'abattement (flux lixiviés) : 4,5



1. **Modification du régime hydrique si bon développement des cultures intermédiaires**
2. **Effets sur les processus de rétention et de dégradation**

Alletto et al., 2012

A retenir : Effets du travail du sol

- La dynamique hydrique est essentielle
  - Circulation de l'eau (par où ?, à quelle vitesse ?)
  - Dynamique d'humectation du sol et d'évaporation

- Semis direct : possibilité de court-circuits et transferts rapides qui ne permettent pas une rétention et dégradation potentiellement plus élevée

- Effets combinés des autres pratiques exemple de l'agriculture de conservation (mulchs, cultures intermédiaires, allongement des rotations)

- Intérêt des cultures intermédiaires
  - Réduction des flux exportés à l'échelle de la saison
  - Réduction des flux à l'échelle de la succession culturale

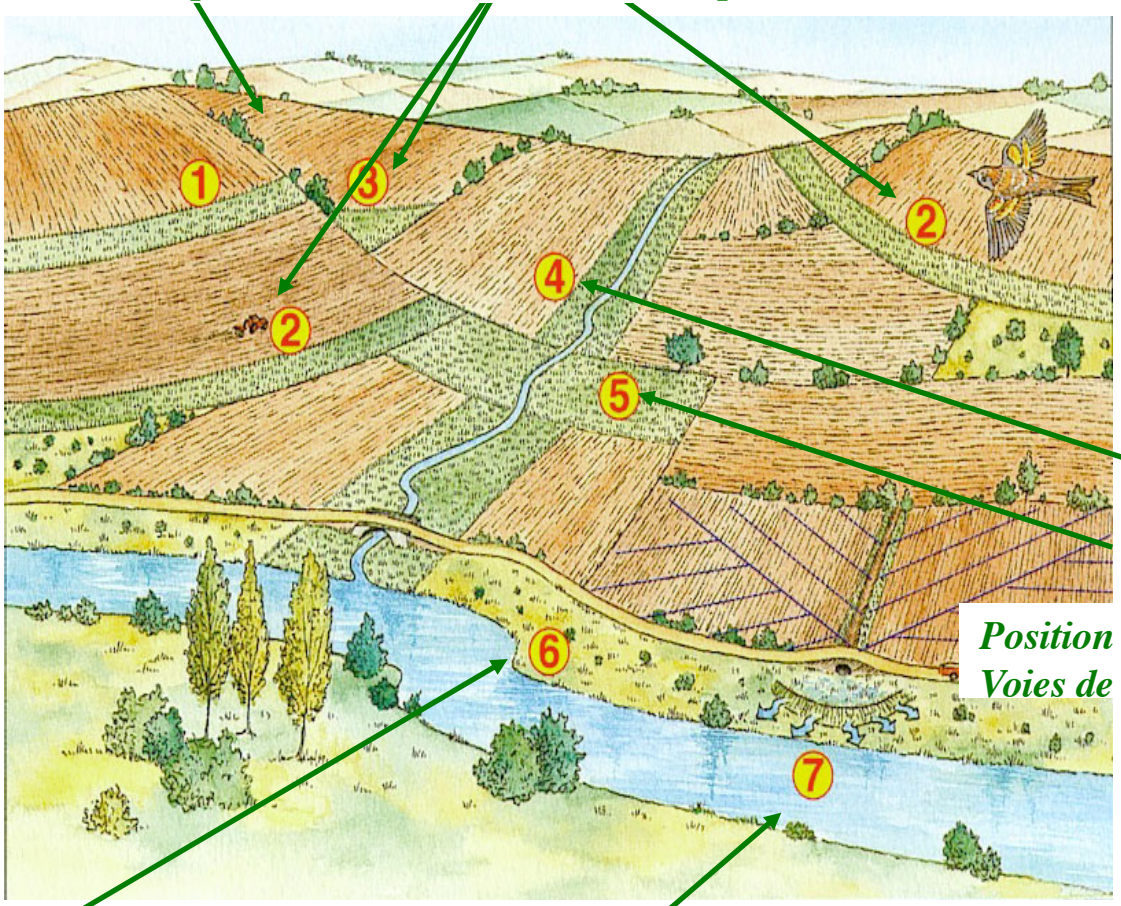
A retenir : « effets systèmes »

- Diversité des situations : W du sol x Climat x Sol x Gestion de l'interculture
  - Herbicides mais quid des fongicides, anti-limaces ?
  - Moins d'études sur les émissions vers atmosphère (volatilisation)
  - Données nécessaires sur nouveaux SdC

- Besoin d'études à la parcelle et pluri-annuelles
  - Intérêt de réseaux d'essais adaptés aux contextes régionaux et locaux
  - Besoins de références sur des nouveaux systèmes de cultures

- Evaluation multicritère agronomie, autres impacts environnementaux, socio-économiques

Aménagements paysagers : autres leviers d'action complémentaires



A combiner avec assolement et gestion des intercultures à l'échelle du parcellaire

CORPEN, 1997

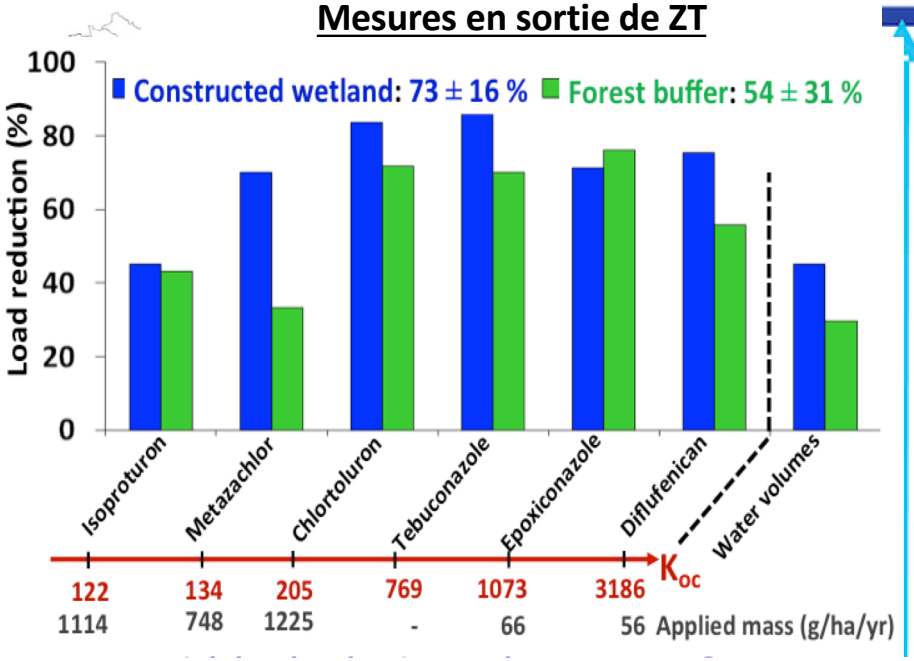
Boite à outil

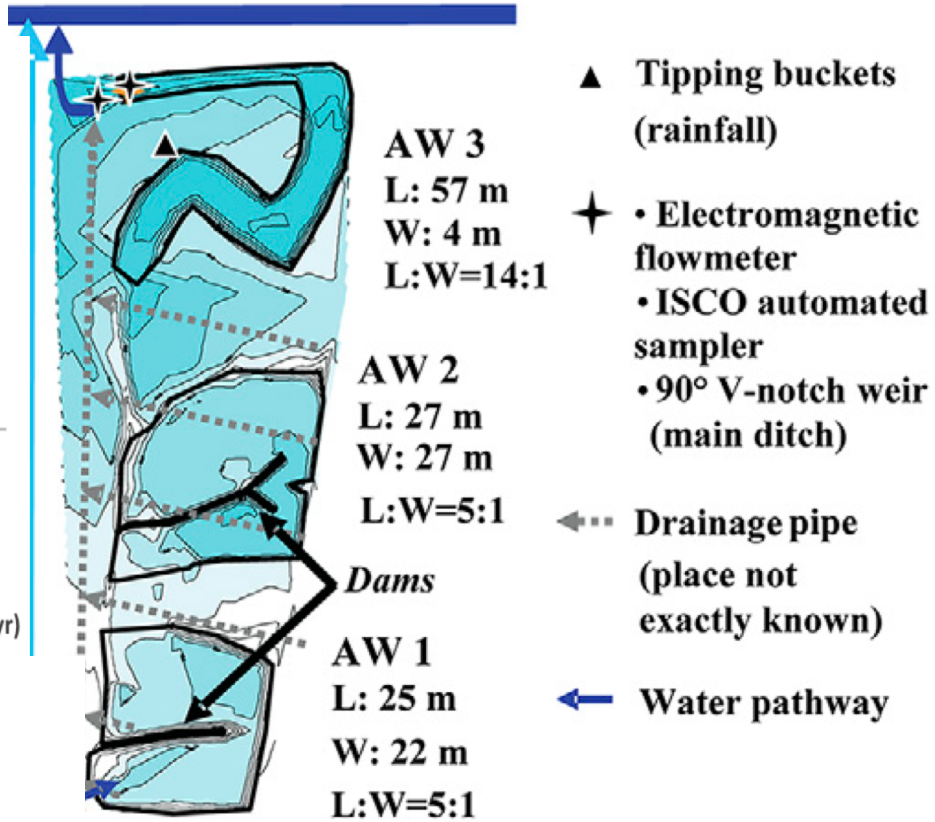
Polluant / Type de levier	NO_3	P dissous NH_4	P particulaire	Pesticides	Eléments traces	Bactéries, antibiotiques	Limites, effets secondaires
Adaptation des SDC	++	++	++	+ à ++	++	+ à ++	Acceptabilité
Relocalisation et adaptation des pratiques selon les risques associés	+	++	++	++	++	++	Acceptabilité
Zone humide naturelle	+ à ++	- à ++	+ à ++	+ à ++	- à +	+ à ++	N_2O, DON, Débits?
Haie, talus	+	+	+ à ++	+ à ++	+ à ++	+ à ++	Gestion, emprise
Bande enherbée	0	0 à +	0 à ++	+ à ++	+ à ++	+ à ++	Saturation, entretien
Fossés aménagés	+	+	+	+	?	+	Entretien, Hydraulique
Reméandrage	+	+	+ à ++	+	0	+?	Investissement, Emprise
Zone humide artificielle	++	++	++	+ à ++	- à +	+ à ++	Investissement
Retenues collinaires ou de thalweg	+ à ++	+ à ++	+ à ++	+ à ++	?	+ ?	Emprise, débits
Biobac	n.a.	n.a.	n.a.	++	n.a.	n.a.	Spécificité

Zones humides artificielles

Ingénierie et optimisation pour la réduction des flux de pesticides issus de parcelles agricoles drainées

Mesures en sortie de ZT





- Efficacité de la ZT = f (taux d'interception des flux drainés, temps de résidence, hydrologie)
- Rôle des courts circuits joués le réseau de drains
- Importance des processus de rétention et de dégradation (microbienne, photodégradation)

Bilans hydrologique et hydrochimique (entrée sortie) comparés entre zone boisée et zone humide artificielle



Collaboration HBAN Anthony – ECOSYS

Passeport et al., 2013 Chemosphere

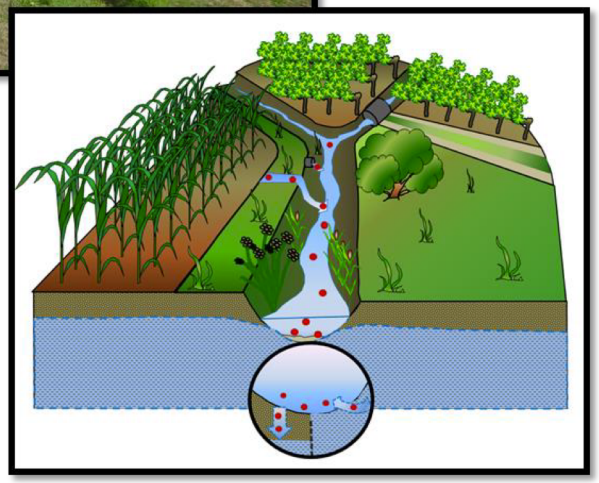
Role des fossés agricoles et de leur mode d'entretien



- Fonctionnement hydrologique et hydrochimique
- Echelle des paysages agricoles



- Sols drainés
- Erosion (MES et pesticides en ph. particulaire)
- Ruissellement de surface
- Transfert hypodermique



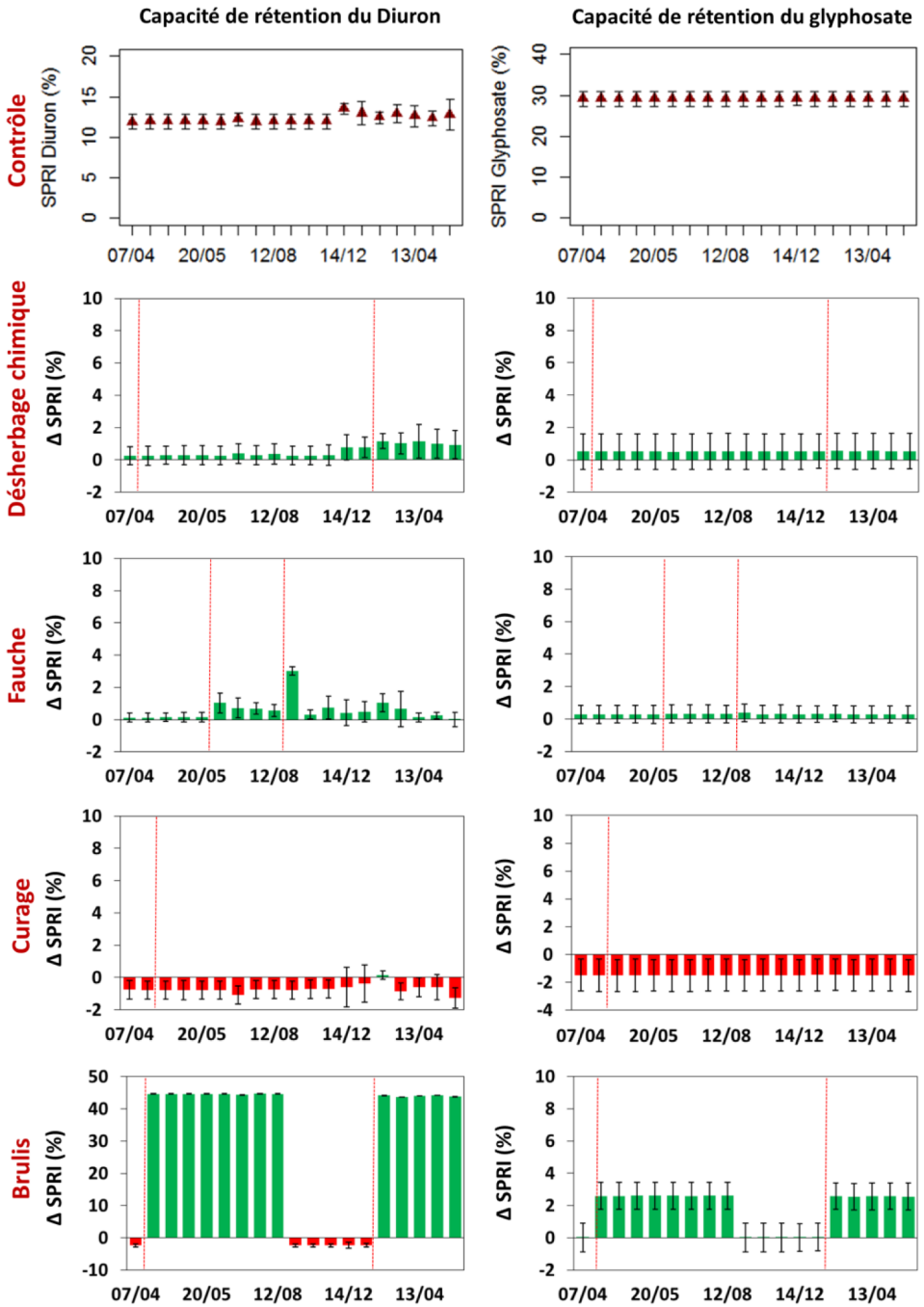
- Zone tampon
- Zone d'échange surface – souterrain
- Ecohydrologie, habitat, diversité

INRAE

LISAH Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème

 Dollinger et al., 2017 Agricultural Water Management

Role des fossés agricoles et de leur mode d'entretien



Capacité de rétention d'herbicides dans les fossés non-entretenus : Diuron 12-14%, Glyphosate ≈30%

La litière générée par le désherbage chimique augmente la rétention du diuron mais il y a un effet négatif des apports de désherbant par l'entretien

La litière générée par la fauche augmente la rétention du diuron – peu d'effet sur le glyphosate

L'élimination des matériaux de fond de fossé lors du curage diminue la capacité de rétention des herbicides

Les cendres issues du brulis augmentent fortement la capacité de rétention d'herbicides (Diuron & glyphosate)

LISAH
Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème

Dollinger et al., 2017 Agricultural Water Management

A retenir

Dimensionner, localiser, évaluer les dispositifs tampons

- La mise en place de ces dispositifs n'est pas sans coût,
- Leur efficacité est très variable, très dépendante du contexte, du positionnement dans le paysage, du design…
- Beaucoup sont multifonctionnels, mais favoriser une fonction peut se faire au détriment d'une autre : prévoir, arbitrer…
- Leur éventuelle généralisation (ou préservation!) dépend de notre capacité à prévoir, quantifier, optimiser.

Merci pour votre attention!



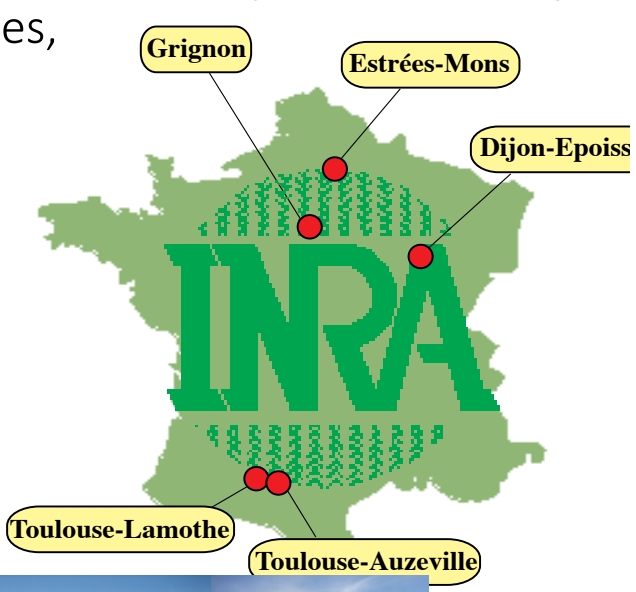
Références terrain en France sur des systèmes bas intrants

- **Mesure des flux de pesticides vers les eaux souterraines dans des systèmes innovants de grandes cultures**
- **Mise en place d'un réseau de 4 sites expérimentaux de longue durée**

ÉCOPHYTO DEPHY Réseau de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires

- 14 systèmes innovants expérimentés (rotations diversifiées, cultures intermédiaires, cultures associées, mulch…)
- Séquences de cultures les plus fréquentes en France

- Séquences représentatives de différentes zones de culture
  - ➢ Rotation colza - blé - orge
  - ➢ Rotation tournesol - blé dur en sec
  - ➢ Monoculture de maïs irriguée




Site de Grignon (© Google Earth)


Site de Dijon (© B. Nicolardot, AgroSup Dijon)


Site de Dijon (© P. Farcy, INRA)


Site d'Auzeville (© E. Justes, INRA)


Site de Lamothe (© L. Alletto, El Purpan)

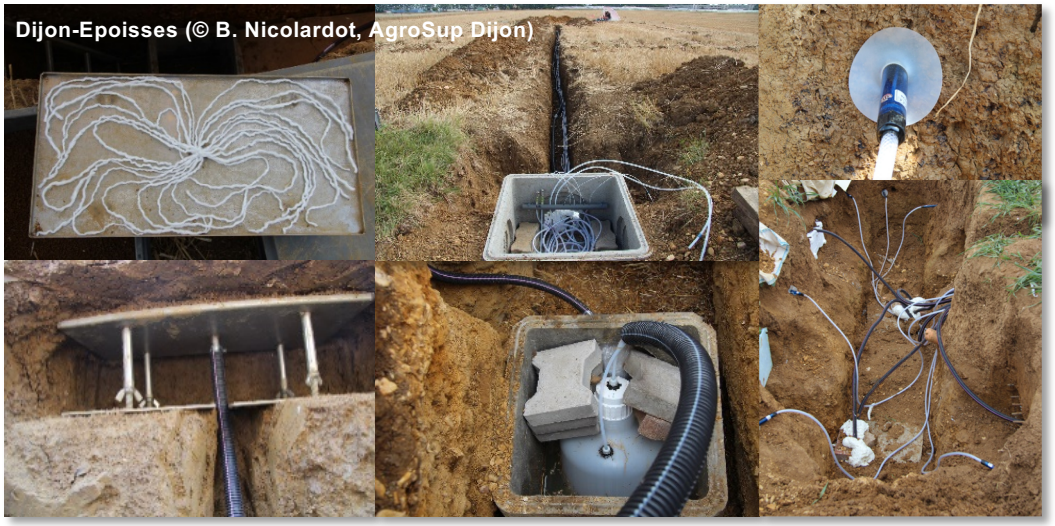
Projets : MicMac Design (Eric Justes, INRA / ANR Systerra), SystemEco^4 (Nicolas Munier-Jolain, INRA / ONEMA), Ecopest (Laure Mamy, INRA / ONEMA), Perform (Laure Mamy, INRA / ONEMA)

INRAE

Références terrain en France sur des systèmes bas intrants

Mesure des concentrations en pesticides dans l'eau

Systèmes Colza - Blé - Orge	Systèmes Tournesol - Blé dur en sec	Systèmes Monoculture de maïs irriguée
Lysimètres à mèche Lysimètres à plaque poreuse Bougies poreuses ➡ 50 cm de profondeur	Lysimètres à plaque poreuse ➡ 100 cm de profondeur	Lysimètres à plaque poreuse ➡ 100 cm de profondeur



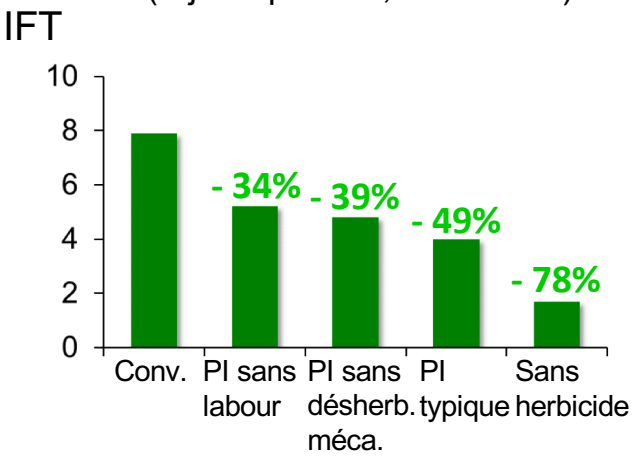


Mamy et al, 2017

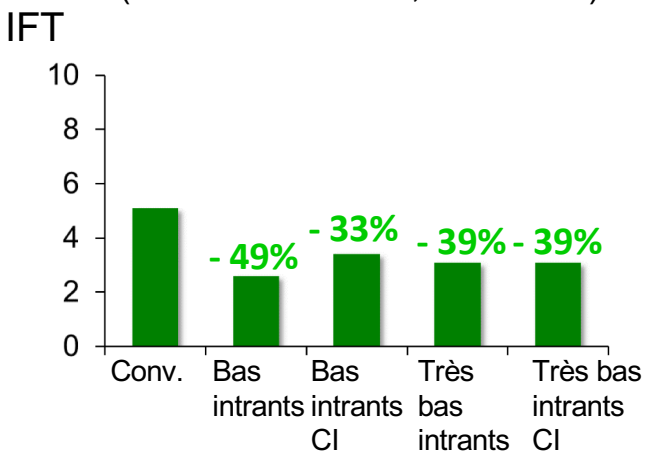
Références terrain en France sur des systèmes bas intrants

IFT des systèmes étudiés

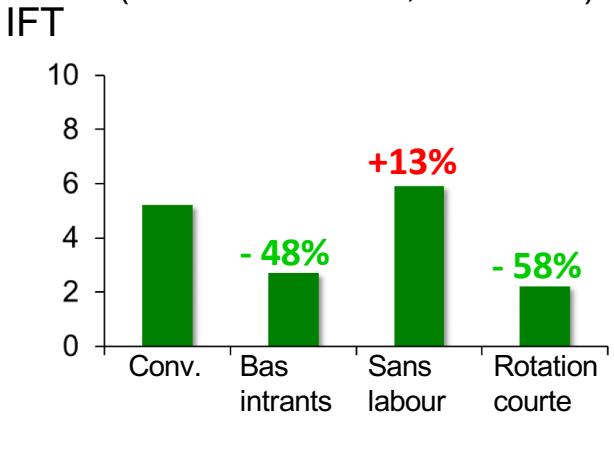
Colza - Blé - Orge
(Dijon-Epoisses, 2001-2015)



Tournesol - Blé dur en sec
(Toulouse-Auzeville, 2011-2015)



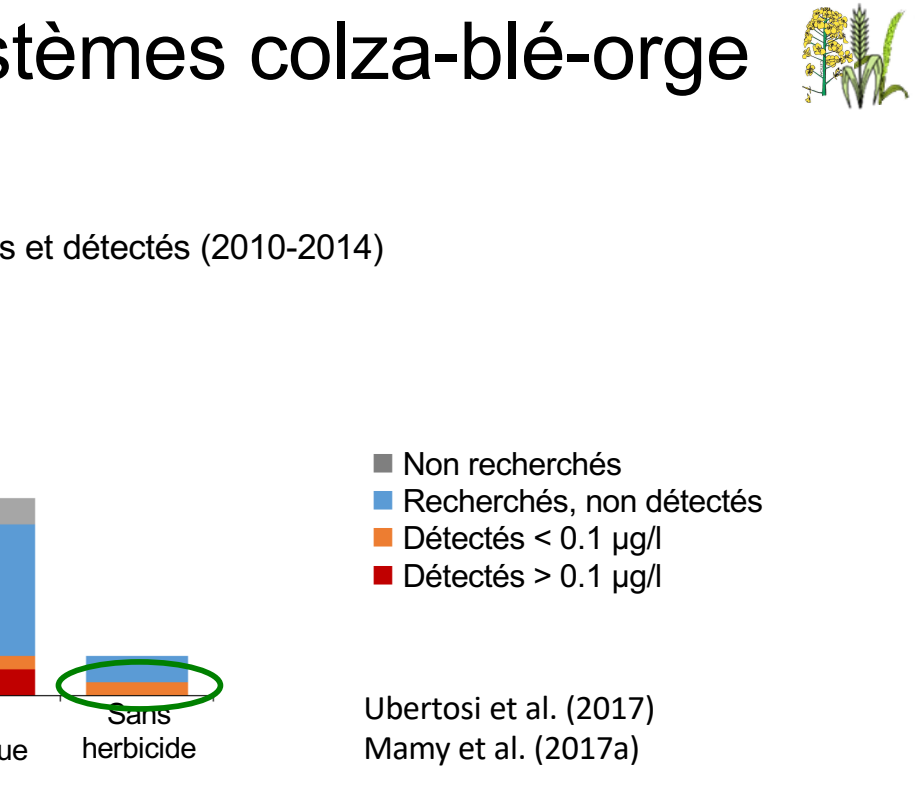
Monoculture de maïs irriguée
(Toulouse-Lamothe, 2011-2015)



- Réduction maximale de l'usage des pesticides :
  - Colza - Blé - Orge : Système « Sans herbicide »
  - Tournesol - Blé dur en sec : « Bas intrants », mais IFT « Très bas intrants » > « Bas intrants » à cause des traitements de semences (2 cultures associées = 2 traitements)
  - Monoculture de maïs irriguée : « Rotation courte »

Mamy et al, 2017

Transfert des pesticides : Systèmes colza-blé-orge



- Mise en évidence de l'« effet système » sur les pertes en pesticides
- Meilleur système / réduction du transfert des pesticides dans l'eau : « Sans herbicide » (IFT min.
- Nombreux pesticides détectés dans l'eau dans le cas du système sans labour :
  - Flux préférentiels + Multiplication des traitements herbicides

Mamy et al, 2017

Systèmes de culture et transfert de pesticides vers les eaux souterraines : bilan

- Lien entre usage des pesticides et contamination des eaux souterraines

- Systèmes favorisant la **réduction des transferts de pesticides dans l'eau** :
  - Systèmes sans herbicide (désherbage mécanique)
  - Systèmes bas ou très bas intrants
  - Systèmes impliquant des rotations (diversification des cultures et allongement des successions)
  - Systèmes impliquant des cultures intermédiaires

☺ **Diminution de l'usage des pesticides, diminution de la pression parasitaire, modification du bilan hydrique des sols entraînant une réduction des transferts…**

- Systèmes favorisant les **transferts de pesticides dans l'eau** :
  - Systèmes conventionnels
  - Systèmes sans labour (techniques culturales simplifiées)

☹ **Nombreux traitements herbicides, modification de la structure du sol favorisant les transferts des pesticides (flux préférentiels)…**

➢ **Indispensable d'actionner les autres leviers (rotations, couvert)**

TyPol : outil de classification des contaminants organiques pour analyser (et prédire) leur écodynamique et leur (éco)toxicité

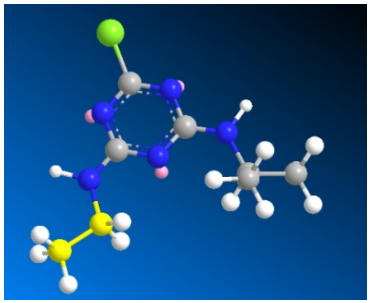
- **Concevoir un outil pour sélectionner des molécules « modèles » selon des critères phénoménologiques (comportements différents) et opérationnels (intensité des risques actuels ou futurs)**

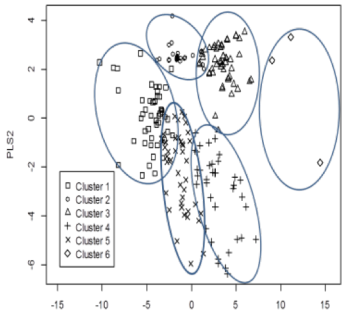
- **Aboutir à un outil mutualisable (BDD) qui permettra d'argumenter les choix de contaminants modèles pour réaliser des études concernant la dispersion, les effets écotoxicologiques des contaminants organiques, d'intérêt**

- **Tester de nouvelles molécules *in silico*, extrapolation (comportements et effets)**

TyPol

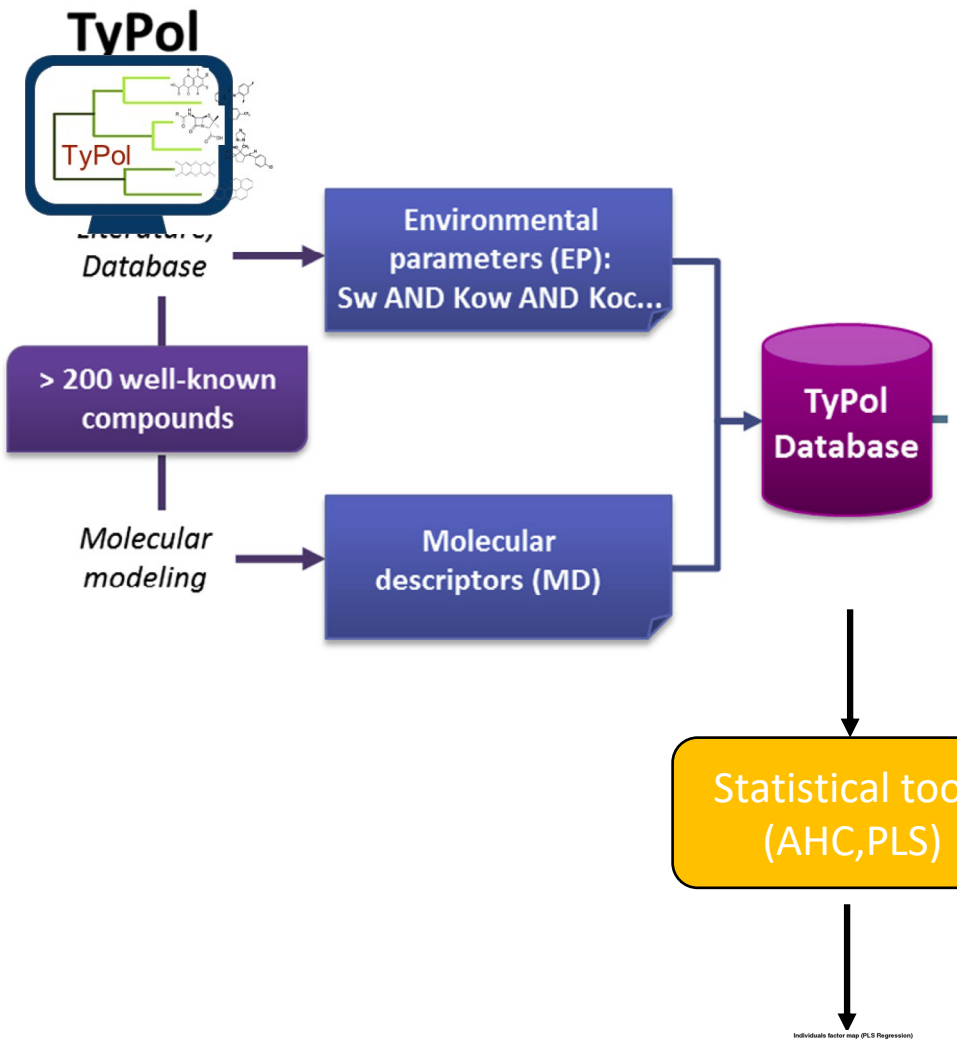
INRAE







TyPol : Classer les contaminants organiques pour analyser (et prédire) leur écodynamique et leur (éco)toxicité



Type of descriptor	Descriptors
Constitution	Number and type of atoms and bonds Molecular Mass
Geometry	Surface
Topology	Connectivity Index
Electrostatic	Polarisability
Quantum	Dipolar Moment Orbital Energy (homo, lumo) Total Energy

➡ 40 molecular descriptors

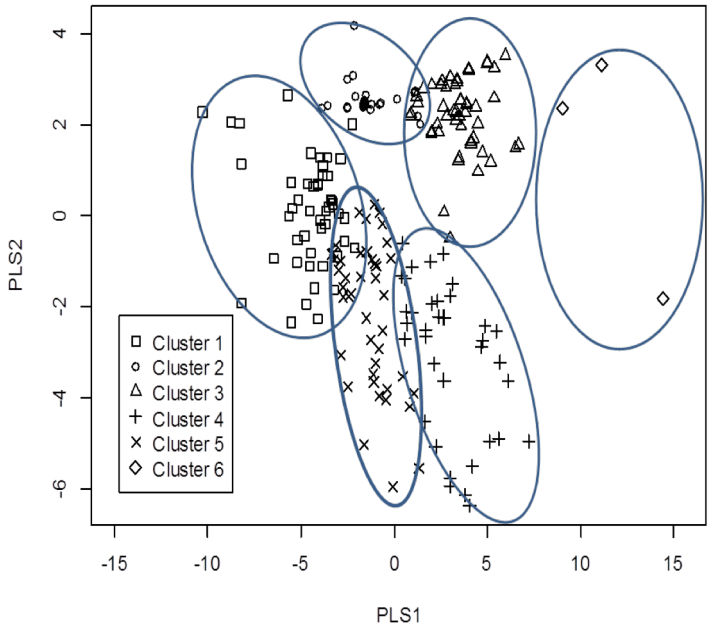
Processus	Parameters
Volatilisation	Pvap, K_H
Adsorption	Koc
Biodegradation	HL50
Dissolution	Sw, Kow
Toxicity	BCF, EC50, LC50, NOEC (on different organisms, daphnies, earthworm, algae)

EC50 : Concentration produisant 50% d'effet
LC50 : Concentration létale à 50%

➡ 7 behavioural parameters
➡ + 7 parameters ecotoxicity (2016)

INRAE

TyPol : premiers résultats



- Première composante PLS : 40% variance - poids important des descripteurs géométriques, topologiques et de constitution (nb atomes Cl)
- Seconde composante PLS : 16 % variance – nb et types de liaisons, nb total d'atomes

Chemosphere 111 (2014) 613–622

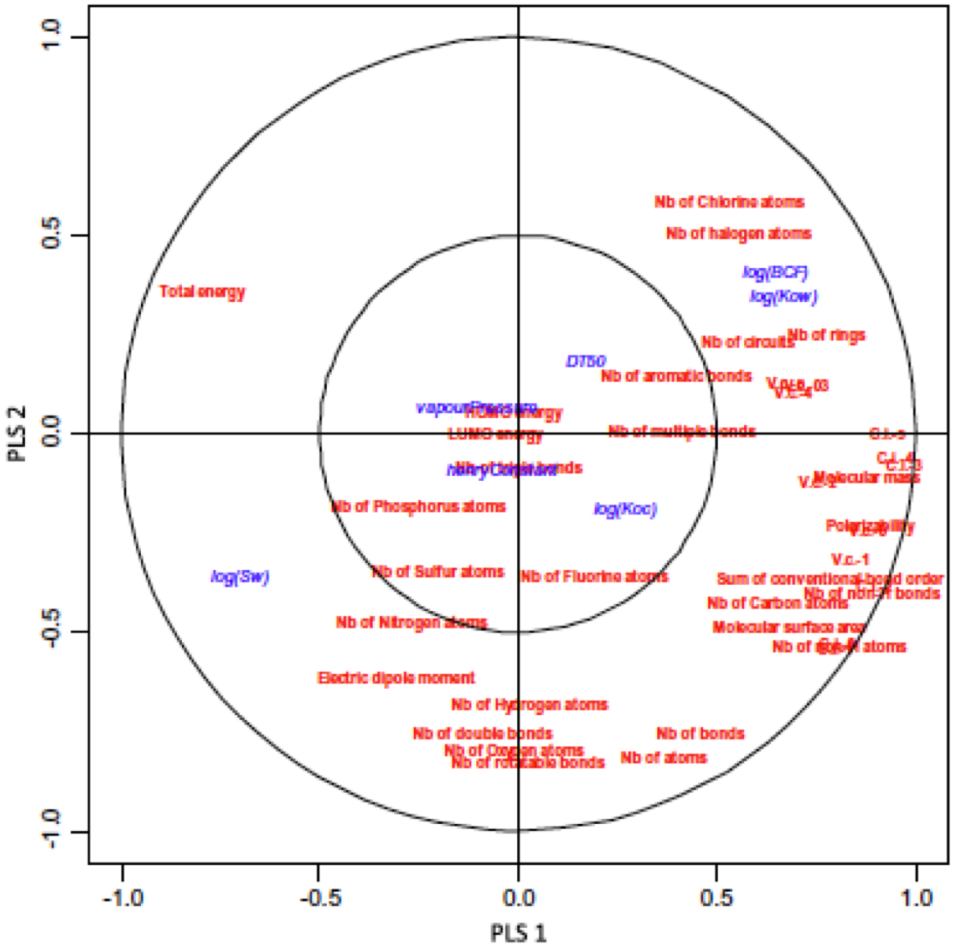
Contents lists available at ScienceDirect

Chemosphere

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemosphere

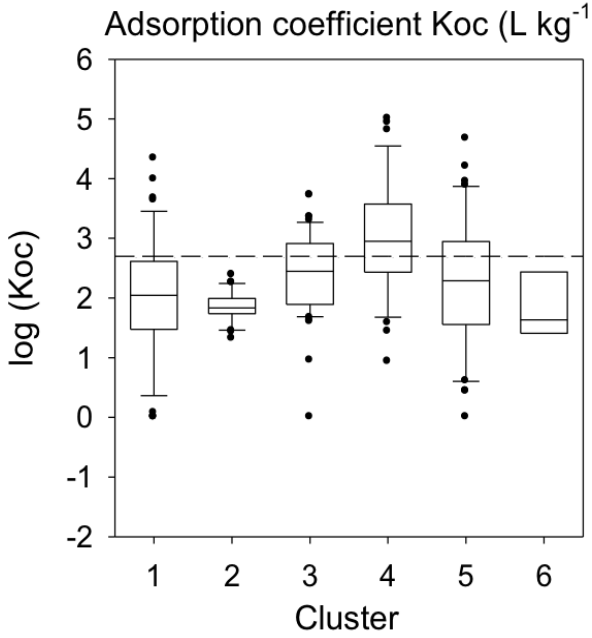
TyPol – A new methodology for organic compounds clustering based on their molecular characteristics and environmental behavior

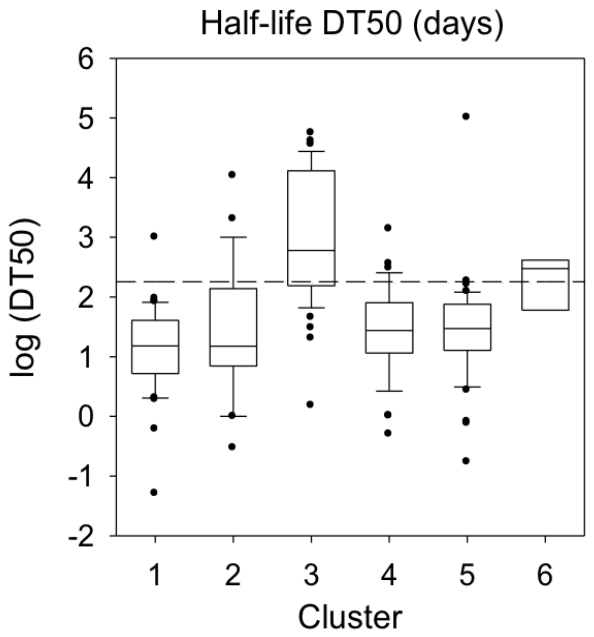
Rémi Servien [a,b,*], Laure Mamy [c], Ziang Li [d], Virginie Rossard [b], Eric Latrille [b], Fabienne Bessac [e,f,g], Dominique Patureau [b], Pierre Benoit [d]

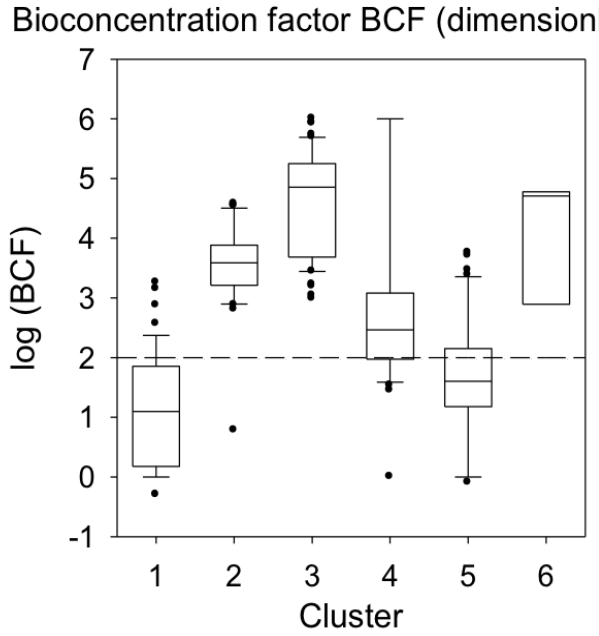


Servien R. et al., 2014 - Chemosphere, 111, 613-622.

TyPol : premiers résultats







2020 : plus de 540 composés dans la BDD TyPol

Servien R. et al., 2014 - Chemosphere, 111, 613-622.

TyPol :comprendre le devenir de produits de transformation (métabolites ») – En complément d'approche « Suspect screening »

Environmental Pollution 208 (2016) 537–545

Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Pollution

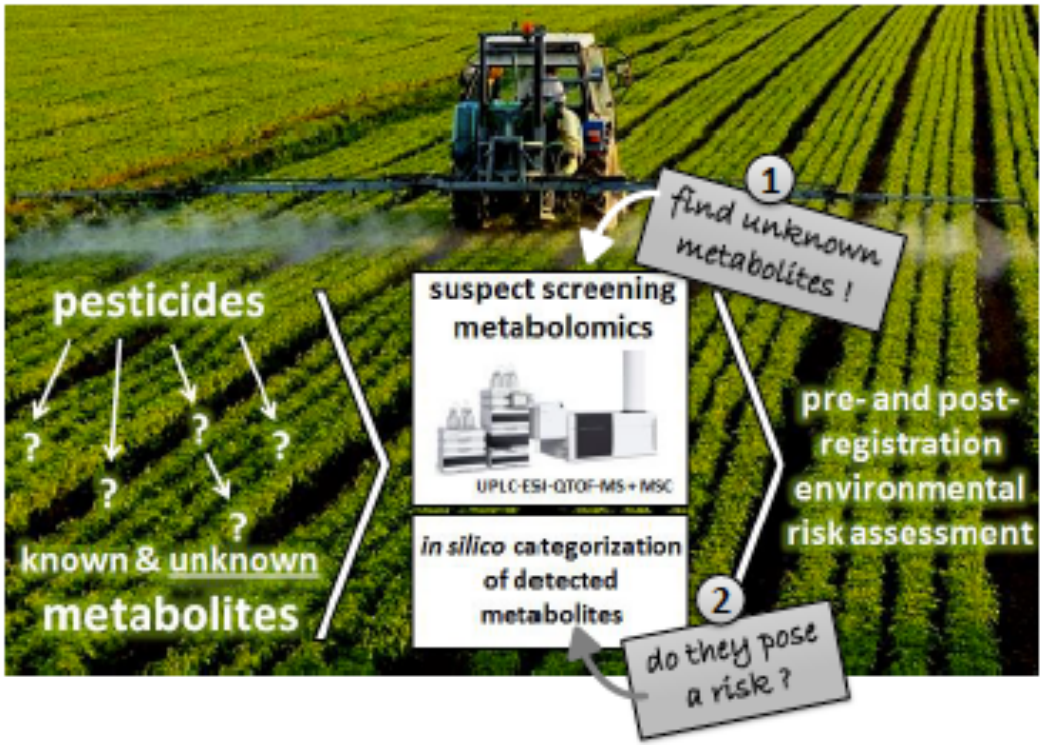
journal homepage: www.elsevier.com/locate/envpol

Short communication

Identification and characterization of tebuconazole transformatic products in soil by combining suspect screening and molecular typology

Veronika Storck [a, b, c], Luigi Lucini [c, **], Laure Mamy [d], Federico Ferrari [b], Evangelia S. Papadopoulou [e], Sofia Nikolaki [f], Panagiotis A. Karas [e], Remi Servien [g], Dimitrios G. Karpouzas [e], Marco Trevisan [c], Pierre Benoit [d], Fabrice Martin-Laurent

[a] INRA, Mixed Research Unit 1347 Agroecology, Dijon, France
[b] Aeiforia srl, Spinoff Catholic University of the Sacred Heart, Fidenza, Italy
[c] Catholic University of the Sacred Heart, Department of Agronomy and Environmental and Chemistry, Piacenza, Italy
[d] INRA, Mixed Research Unit 1402 ECOSYS, Thiverval-Grignon, France
[e] University of Thessaly, Department of Biochemistry and Biotechnology, Larissa, Greece
[f] University of Patras, Department of Environmental and Natural Resources Management, Agrinio, Greece
[g] INRA, Mixed Research Unit 1331 Toxalim, Toulouse, France



Storck V. et al. 2016. Env. Pollution, 208, 537-545.