



# **Transferts de phytos depuis les sols vers les masses d'eau**

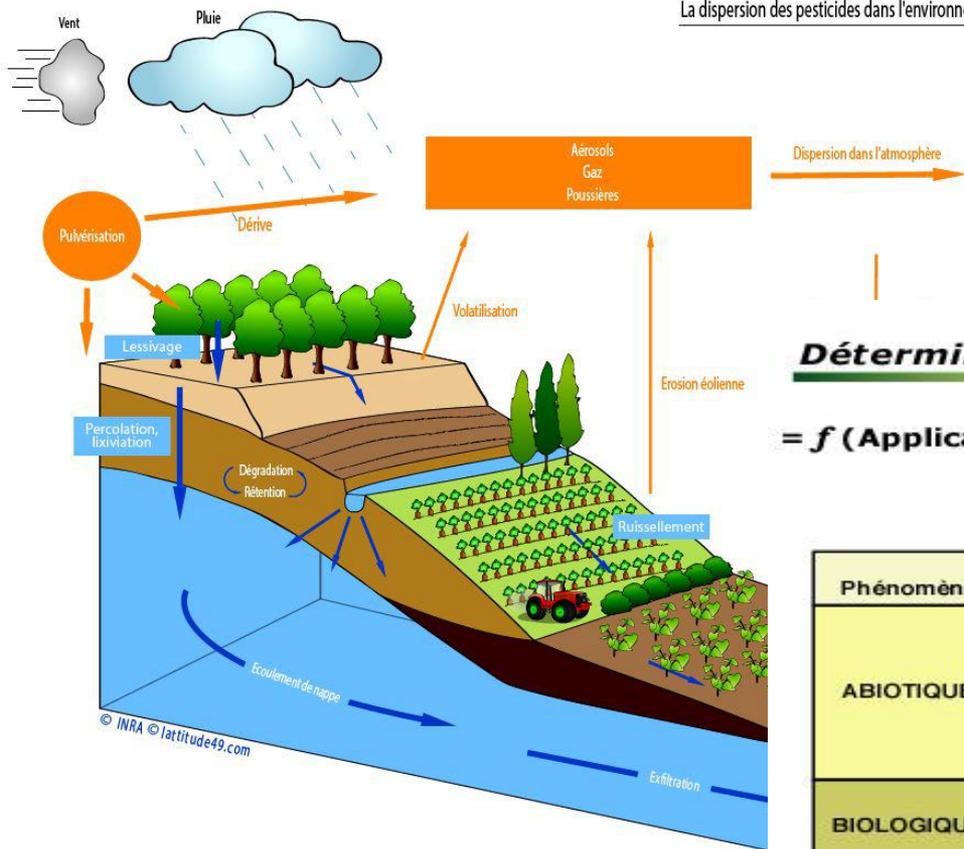
- **Quels leviers pour réduire les usages et les transferts ?**

**Pierre Benoit**

UMR EcoSys, INRA AgroParisTech, Grignon

# Devenir environnemental des pesticides

La dispersion des pesticides dans l'environnement



## Sol = Interface clef

**Déterminisme des facteurs d'exposition - disponibilité**

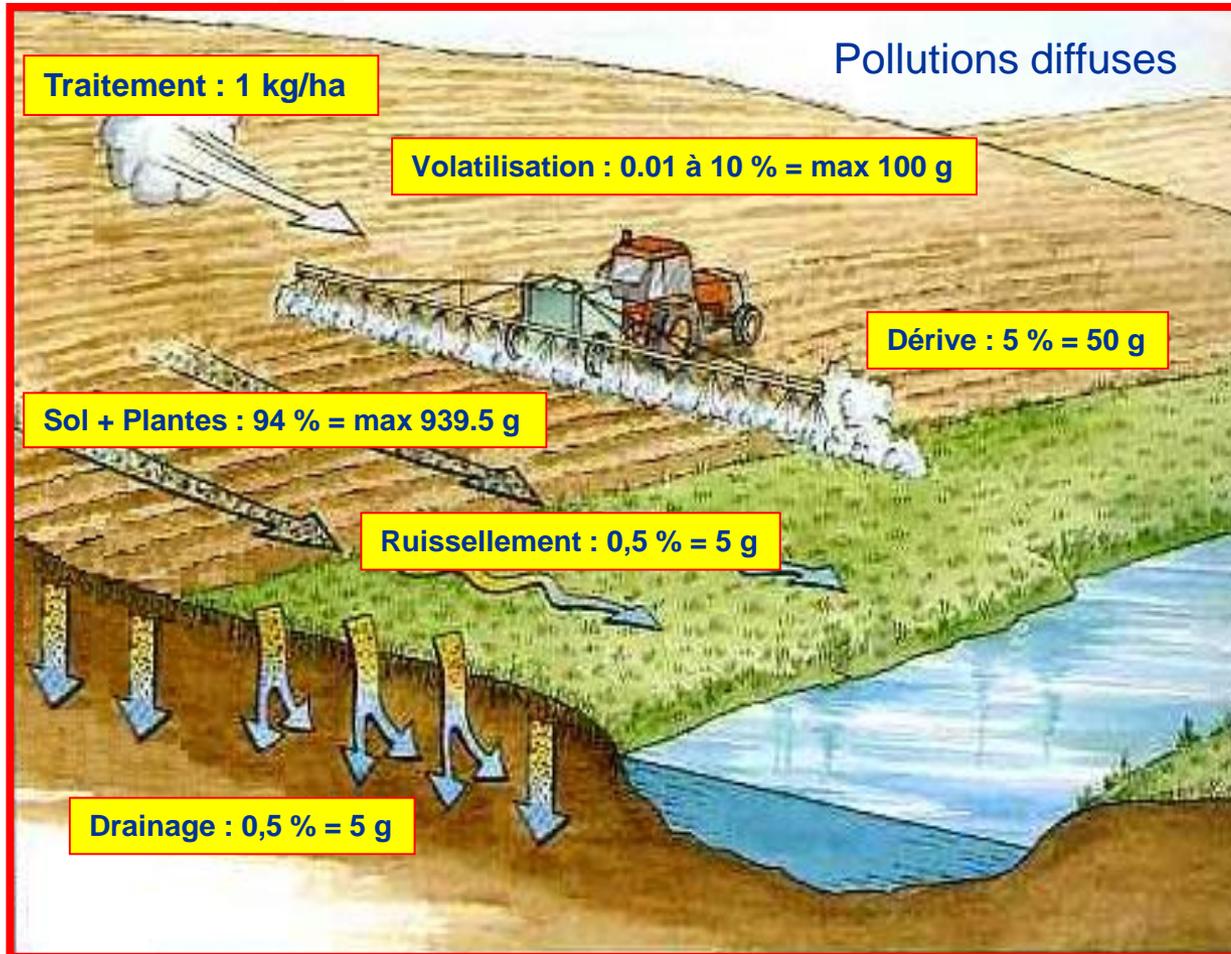
$$= f(\text{Application}) - f'(\text{Transformation, Rétention}) - f''(\text{Transport})$$

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**  
**Déterminisme de la disponibilité**  
**Évaluation des voies de transferts**

# Transferts : quels ordres de grandeurs ?

## Flux de pesticides dans une parcelle traitée

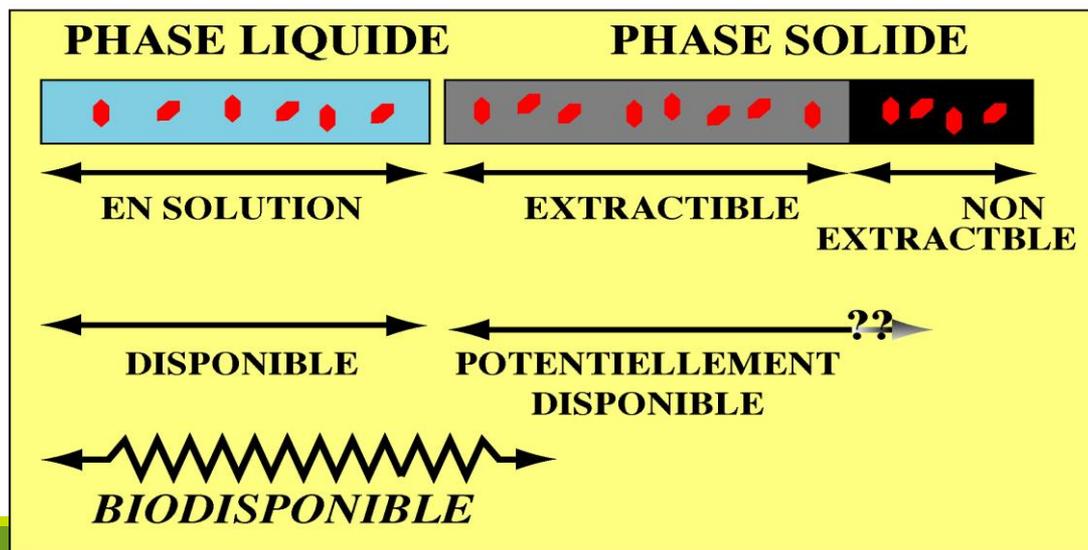
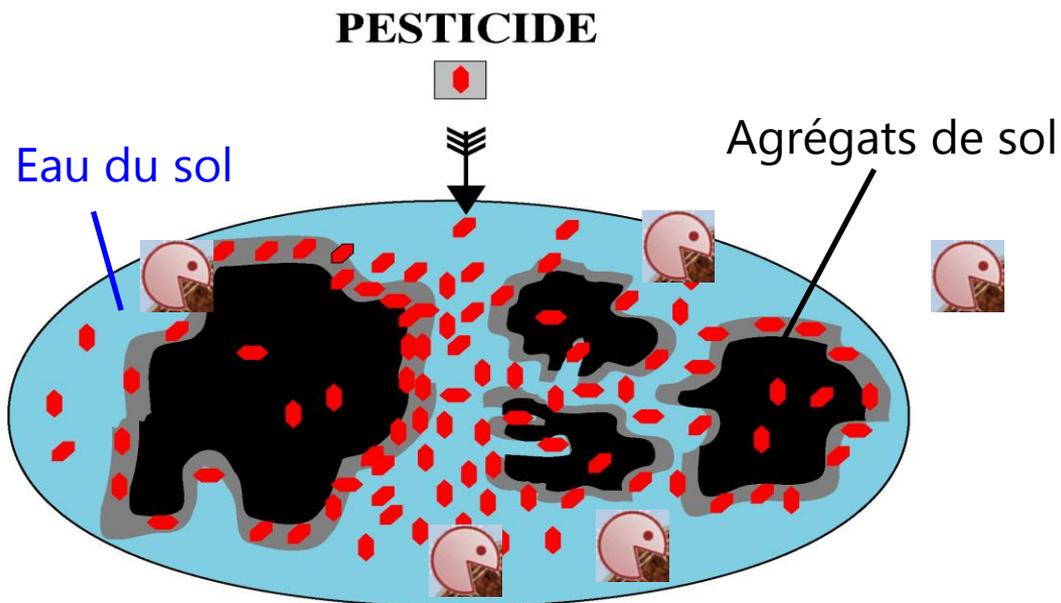


**Sol = Interface clef**

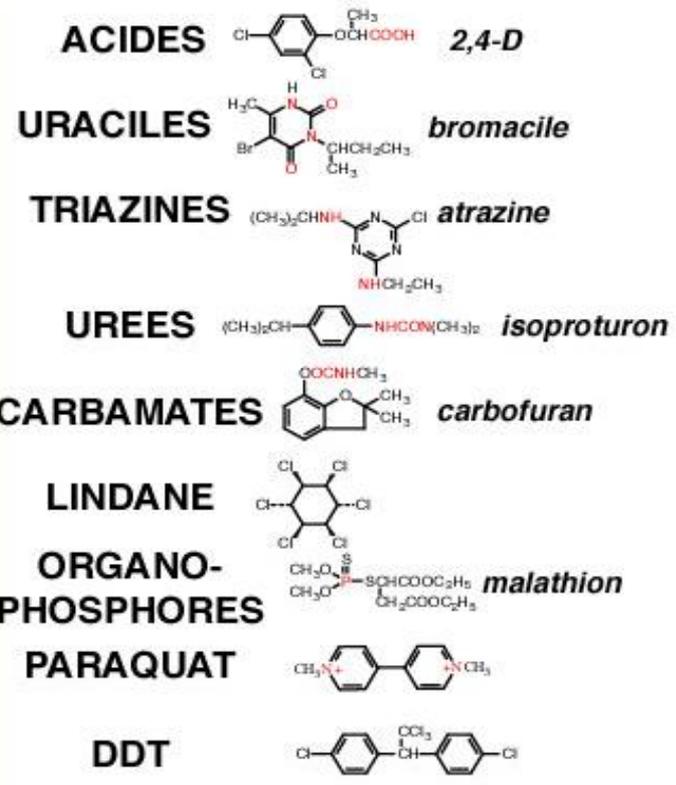
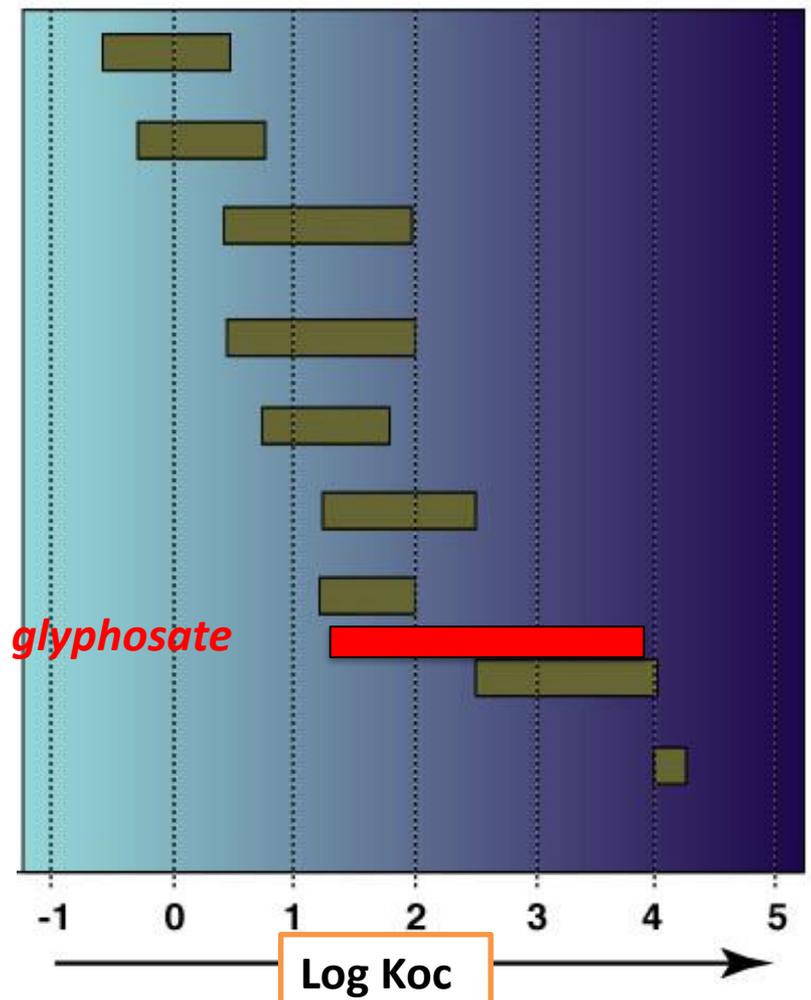
- devenir et effets
- voies d'exposition des autres milieux

**A distinguer des sources ponctuelles (rinçage de cuve) > qqes %**

# Concentrations : totales ou disponibles



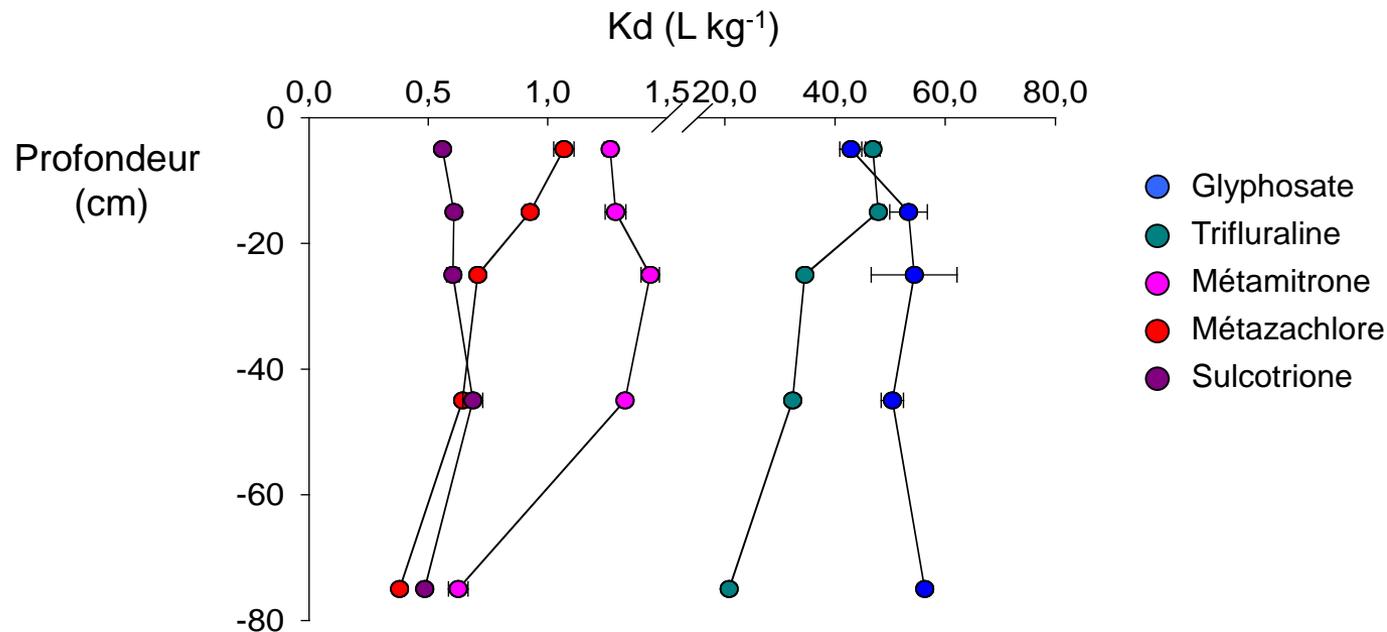
# Forte variabilité des propriétés de rétention : molécules



Diminution de la mobilité

# Forte variabilité des propriétés de rétention : propriétés des sols

## Propriétés des sols variables en fonction de la profondeur



*Mamy & Barriuso, 2005*

- Glyphosate : Adsorption  $\nearrow$  avec la profondeur
  - Trifluraline, Métazachlore, Métamitron, Sulcotrione : Adsorption  $\searrow$  avec la profondeur
- ➔ Dû aux caractéristiques des sols, en particulier matière organique et pH

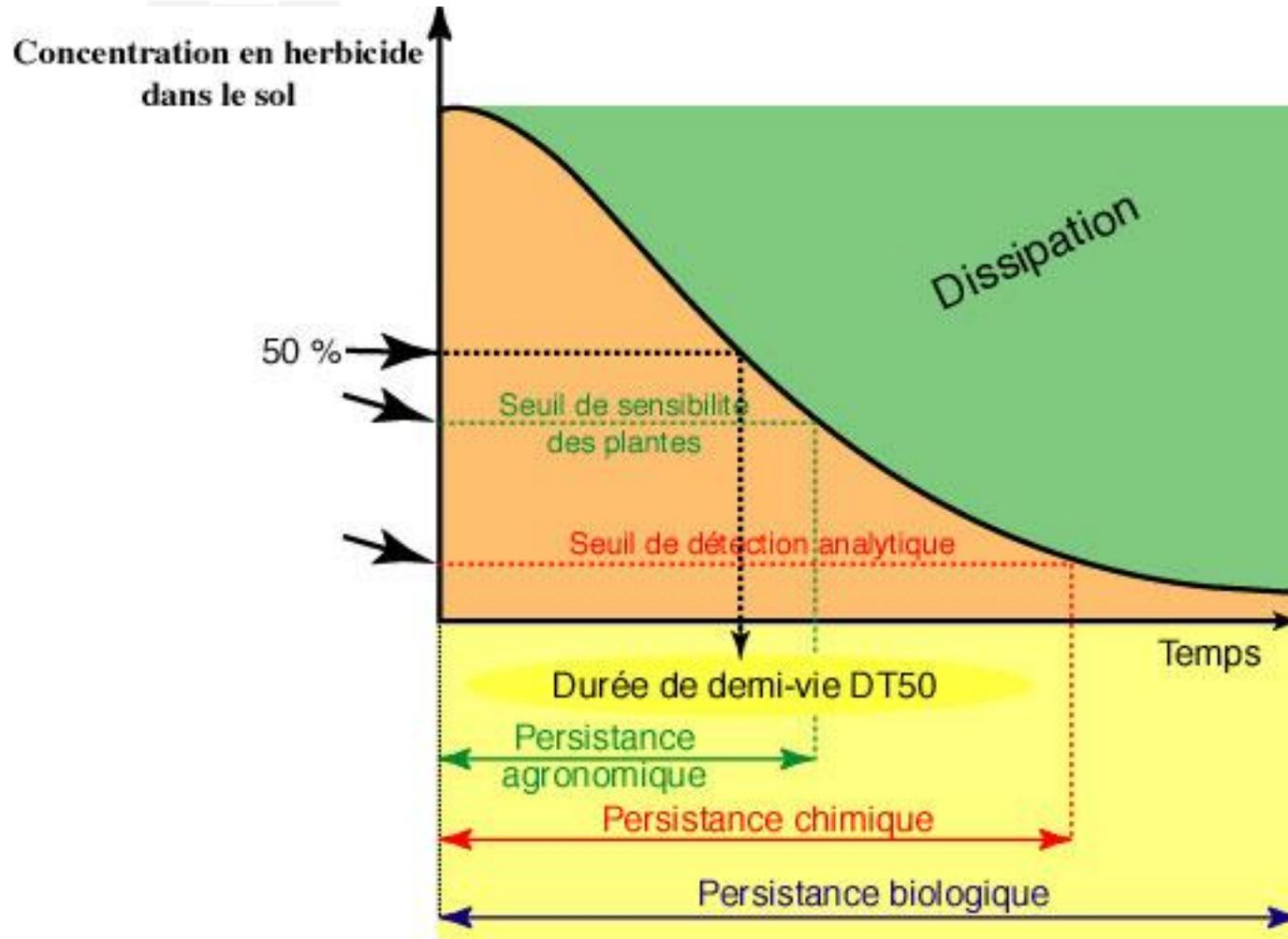
# Mobilité des pesticides - A retenir :

- ❖ Plus le coefficient  $K_d$  ou  $K_{oc}$  est grand plus la rétention des pesticides est importante et moins ils sont mobiles dans les sols
- ❖ 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
- ❖ Le  $K_{oc}$  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 l'influence d'autres facteurs influents : **argiles, cations, pH,**



**TROP FORTE SIMPLIFICATION**

# Persistance et demi vie



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

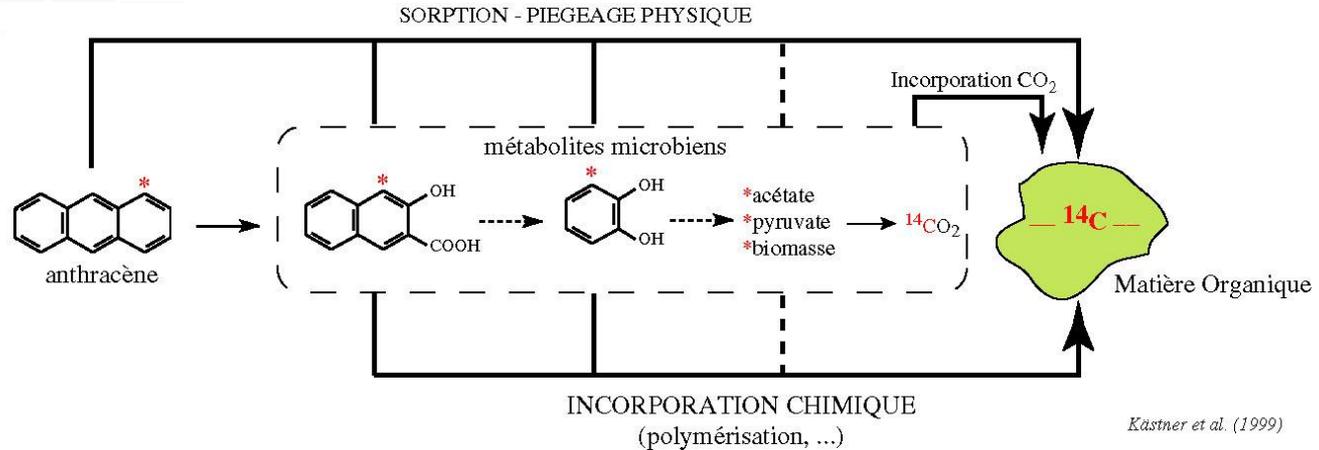
Pesticide	Loss of efficacy	Reference
2,4,-D	+	Audus (1949, 1951); Gray and Joo (1985)
Alachlor		Walker and Wekh (1991)
Amitrole		Riempa (1962)
Atrazine		Barriuso and Houot (1996)
Bentazon		Wagner et al. (1996)
Butylate	+	Harvey (1987)
Carbetamide	+	Hole et al. (2001)
Chloramben		Wildung et al. (1968)
Chloro toluron		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 Wekh (1991)
MCPA		Audus (1951)
Monolinuron		Maier-Bode and Hartel (1981)
Napropamide		Walker and Wekh (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*

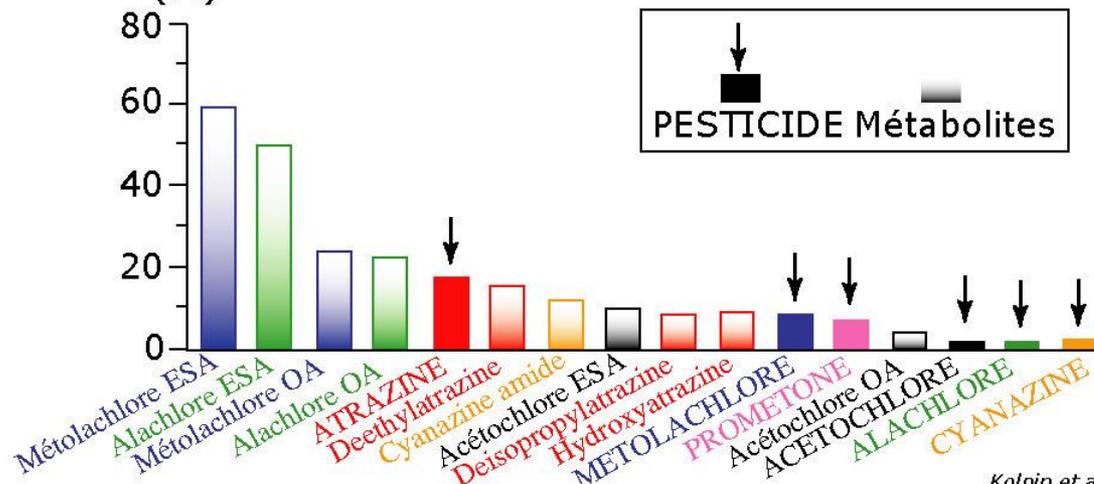
# La question des métabolites : produits de dégradation

- Modification de la réactivité, toxicité, ...



- Démultiplication des polluants

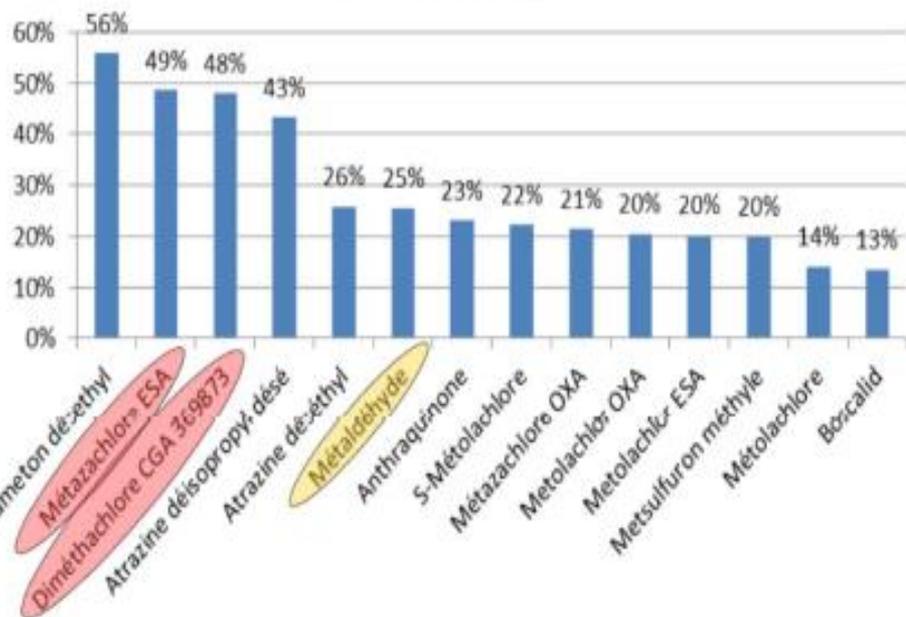
Fréquence de détection (%)



*Kolpin et al. (1998)*

# Le cas des molécules mesurées dans l'Yonne

Top 14 des Fréquences de Dépassement  
(2014-2016)



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

**Metaldéhyde**  $DT_{50 \text{ champ}}$  5 jours ;  $K_{oc}$  85 l/kg

**S-Metolachlore**  $DT_{50 \text{ champ}}$  7 - 16 jours ;  $K_{oc}$  200 l/kg

➤ Metolachlor OXA  $DT_{50}$  50 jours ;  $K_{oc}$  7-22 l/kg

➤ Metolachlor ESA  $DT_{50}$  70 - 132 jours ;  $K_{oc}$  5-20 l/kg

**Metazachlor**  $DT_{50 \text{ champ}}$  200 jours ;  $K_{oc}$  134 l/kg

➤ Metazachlor OXA  $DT_{50}$  ;  $K_{oc}$  48 l/kg

➤ Metazachlor ESA  $DT_{50}$  ;  $K_{oc}$  41 l/kg

**Atrazine**  $DT_{50}$  75 jours ;  $K_{oc}$  100 l/kg

➤ Deséthyl- Atrazine  $DT_{50}$  45 jours ;  $K_{oc}$  72 l/kg

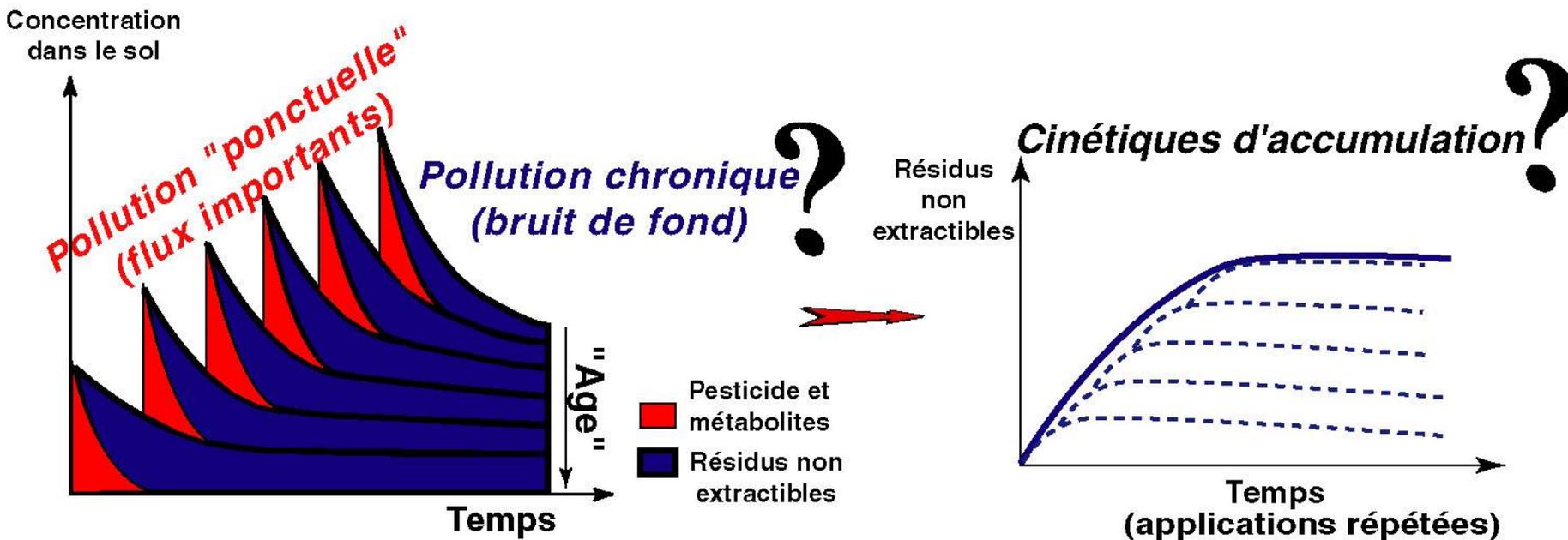
*PPDB - Pesticide Properties DataBase, 2016*

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 ?

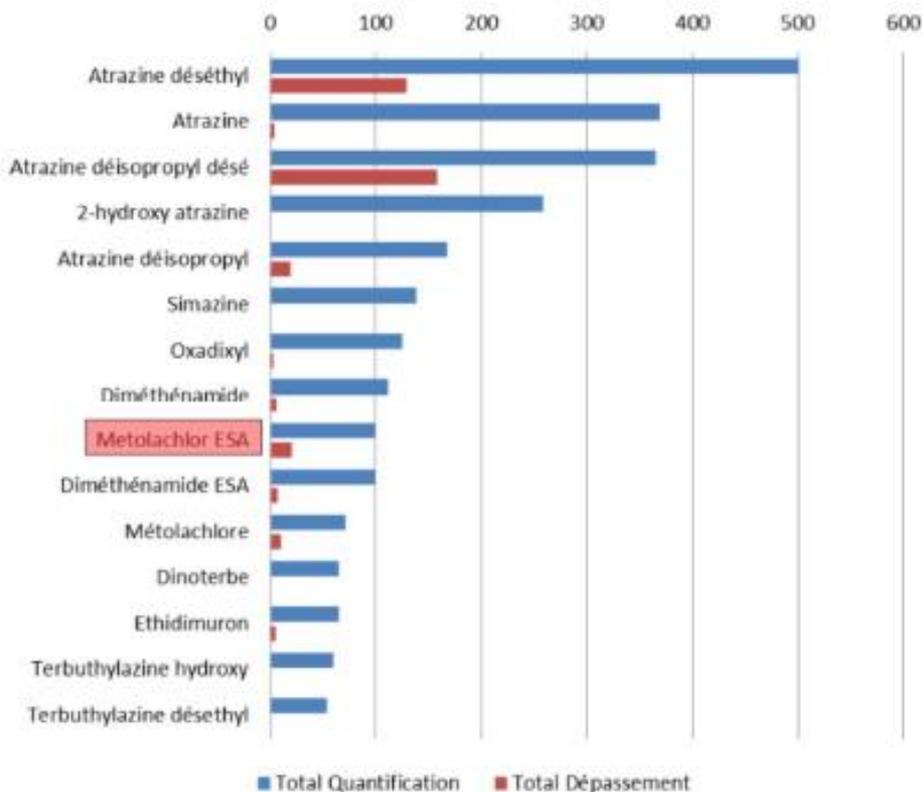


*Barriuso, 1999*

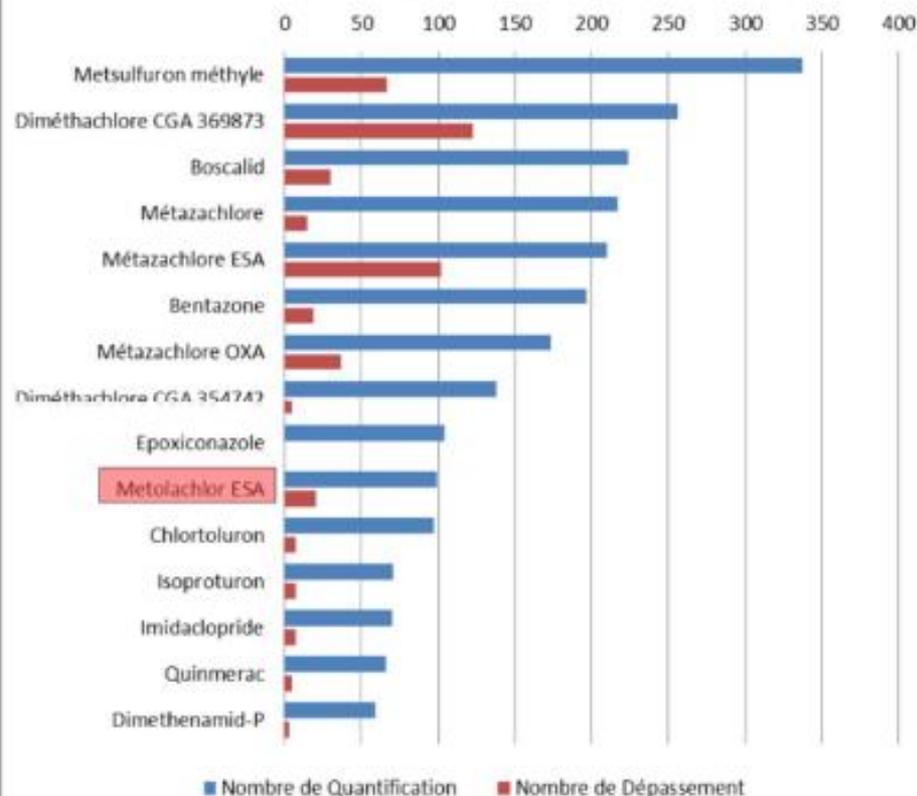
# Des dynamiques à long terme

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

### Top 15 des molécules Interdites les plus quantifiées (2014-2016) - Yonne



### Top 15 des molécules Autorisées les plus quantifiées (2014-2016) - Yonne



# 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)

# Les dispositifs d'acquisition et de mise à disposition de connaissances sur les transferts de phytosanitaires aujourd'hui :

❖ Les dispositifs existants aujourd'hui pour mesurer les transferts : comment fonctionnent-ils ? que nous apprennent-ils ?

❖ Quelques exemples :

❖ Effets de 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

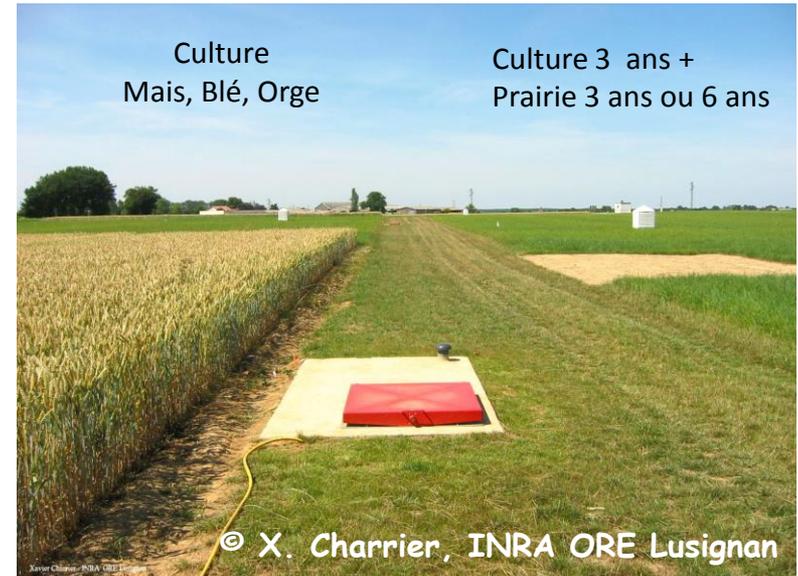
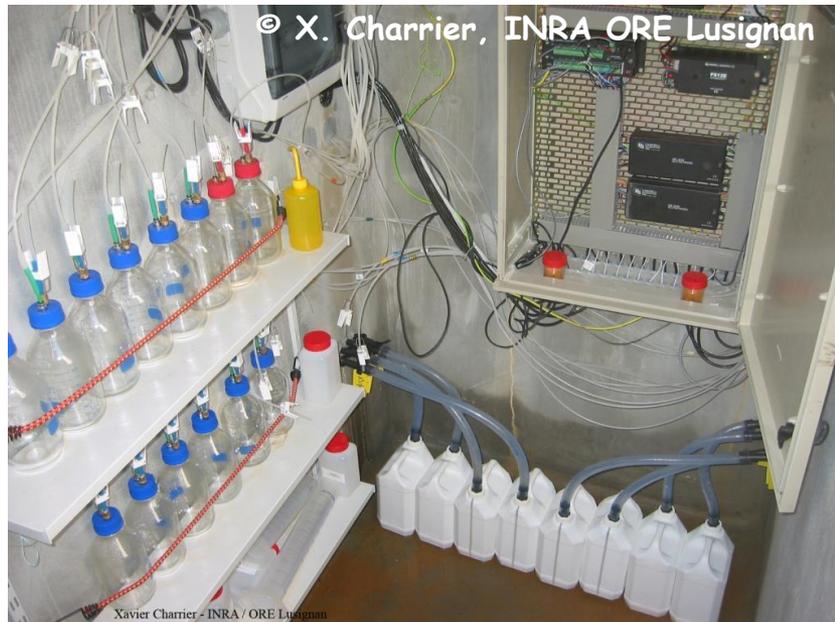
- Effets sur l' environnement

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



# 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

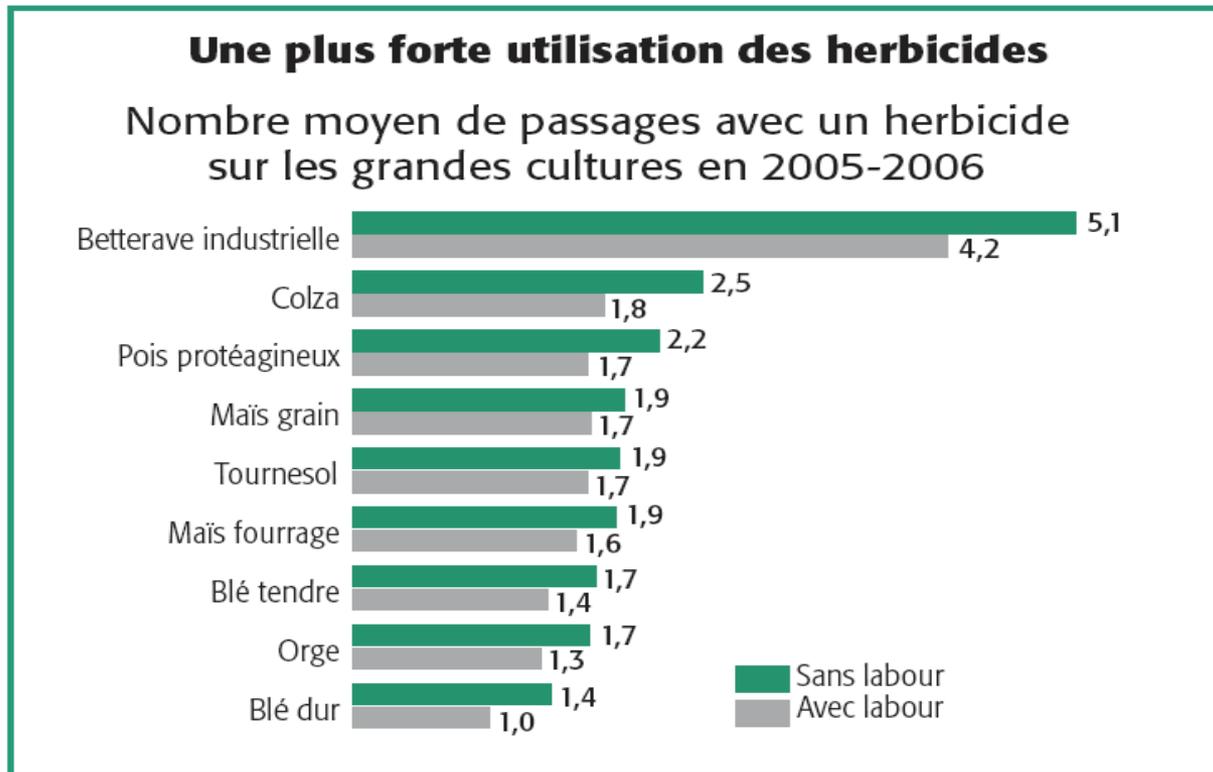
- ❖ ORE ACBB Site de Lusignan - INRA Poitou-Charentes
- ❖ Comparaison de 2 modes de conduites :

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)
I sopr otur on	[0,03-20]	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
MD-I sopr otur on	[0,05-0,18]	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
DD-I sopr otur on	[0,05-0,07]	<b>0,02</b>	< 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

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

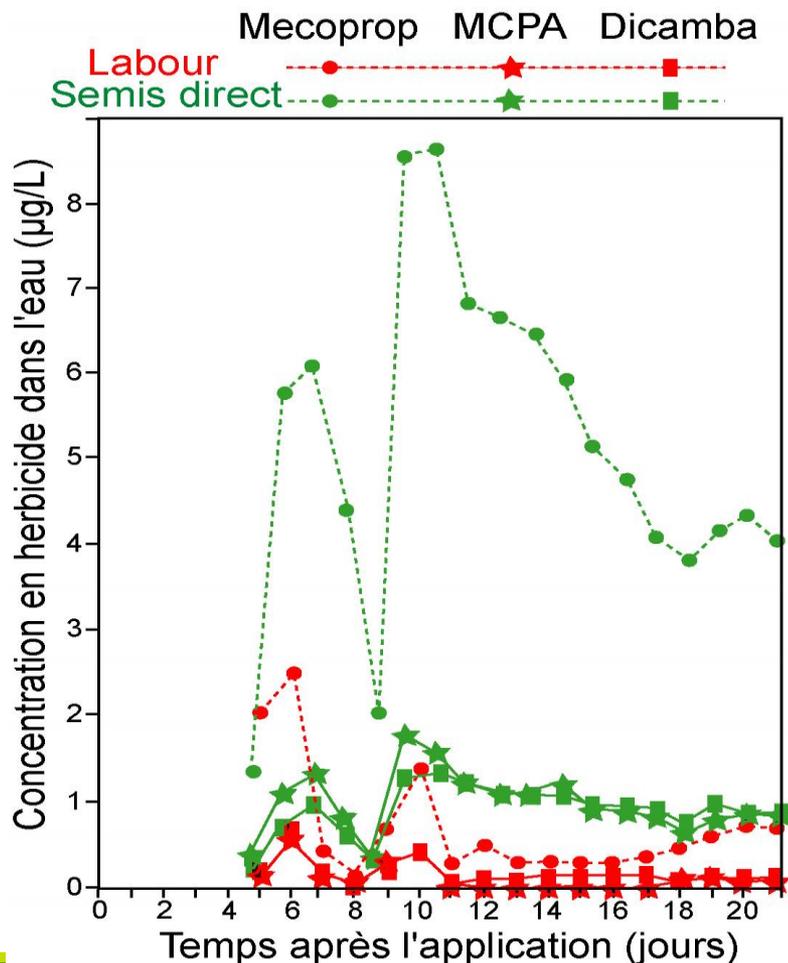
## Comparaison des fréquences d'utilisation d'herbicides avec et sans labour



Source : Agreste - Enquête sur les pratiques culturales 2006

# Influence du travail du sol sur les transferts hydriques

Herbicides dans l'eau  
à 1 m de profondeur



## Pertes par lixiviation

- Continuité porale surface profondeur
- Transport préférentiel accru (macroporosité d'origine biologique ou physique)

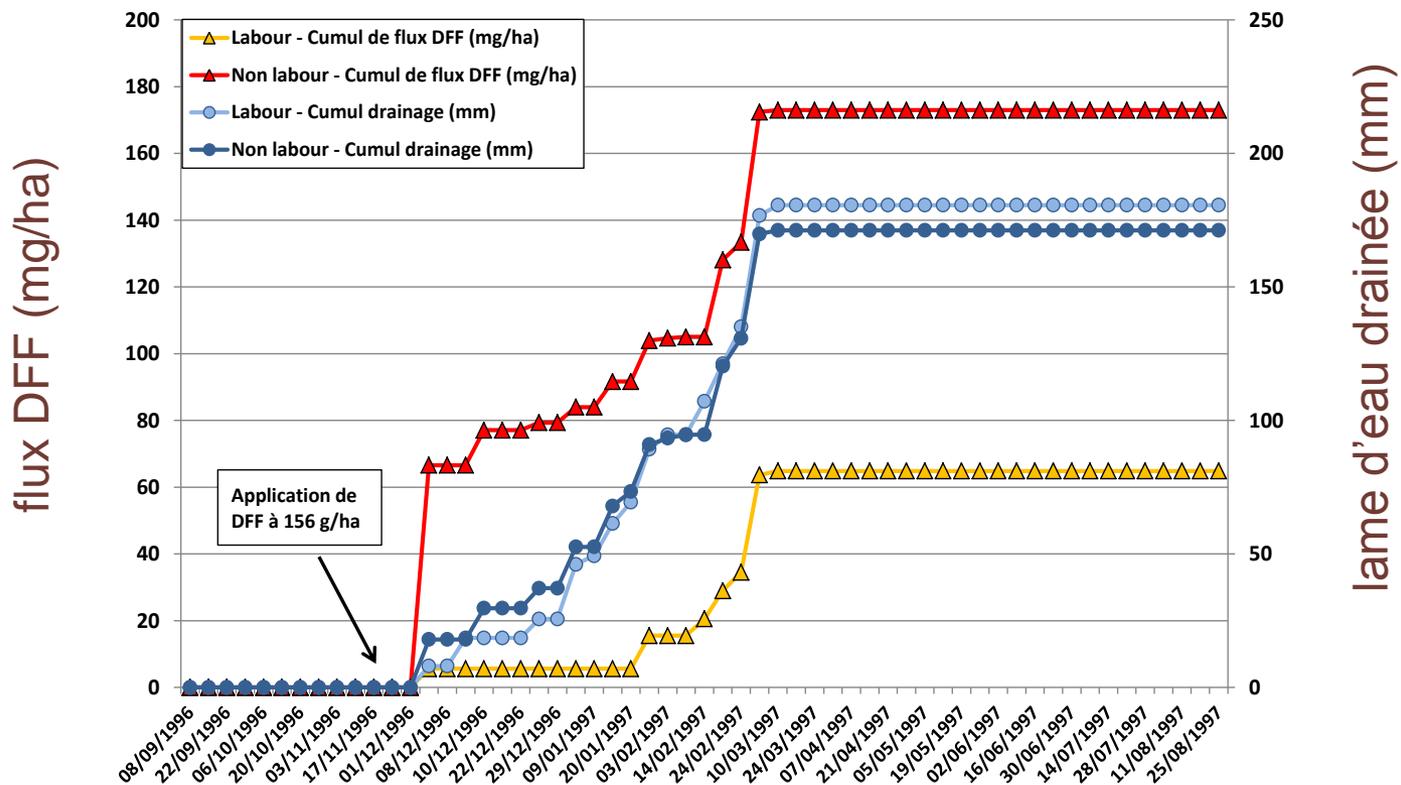
Elliott et al., 2000

# Sols agricoles drainés et travail du sol : études au champ

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

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

(Quartz GT, Quetzal)



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
- Tarissement plus rapide en absence de précipitation



# Effets croisés : couverts intermédiaires x travail du sol

## Lixiviation : Suivi terrain 4 ans 2005-2008 - Dicétonitrile

- Monoculture Maïs irrigué – Midi-Pyrénées

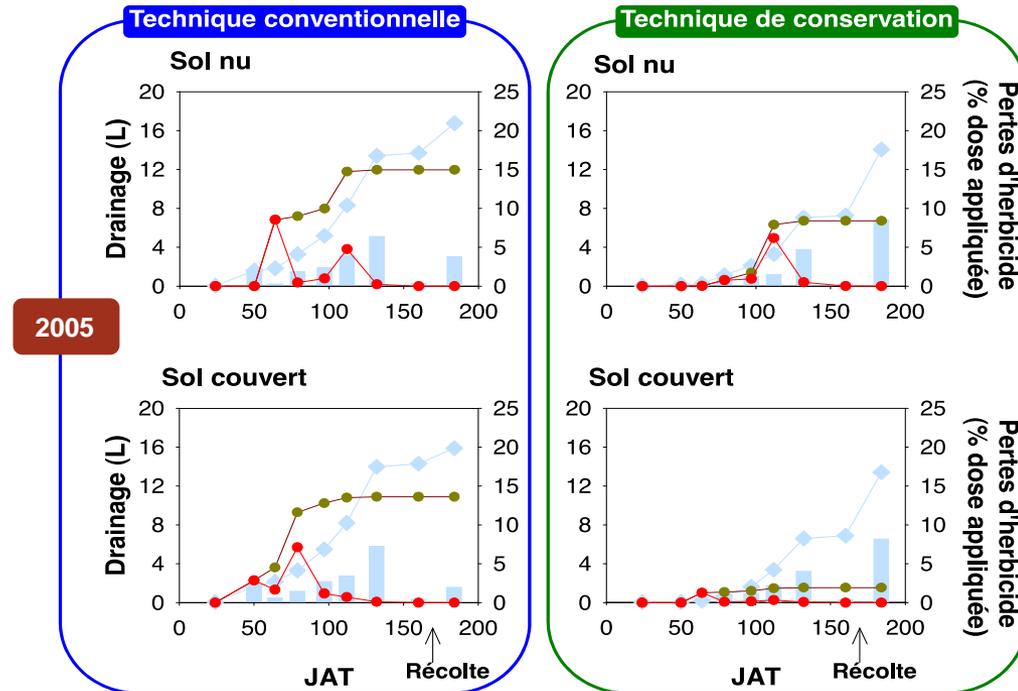


Travail du sol réduit

**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 :

- ❖ La dynamique hydrique est essentielle
  - Circulation de l'eau
  - 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 :

- ❖ 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

# Références terrain en France sur des systèmes bas intrants

Systemes de culture et transfert de pesticides vers les eaux souterraines

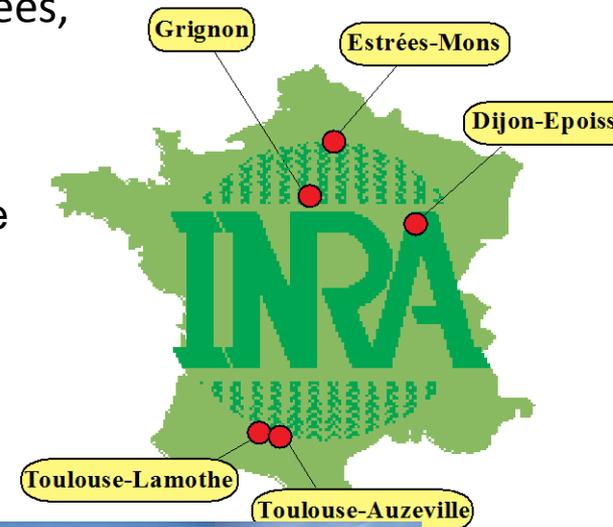
**Systemes de culture = Levier d'action pour réduire la contamination des eaux souterraines par les pesticides en combinant plusieurs actions qui jouent**

- **Sur la réduction des usages**
- **Sur le fonctionnement des sols vis à vis des transferts**

# 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
  - ❖ 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

**ÉCOPHYTO**  
**DEPHY** Réseau de Démonstration  
Expérimentation et Production  
de références sur les systèmes  
économiques en phyto-sanitaires



Site de Grignon  
(© Google Earth)



Site de Dijon  
(© B. Nicolardot, AgrSup 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<sup>4</sup> (Nicolas Munier-Jolain, INRA / ONEMA), Ecopest (Laure Mamy, INRA / ONEMA), Perform (Laure Mamy, INRA / ONEMA)

# Références terrain en France sur des systèmes bas intrants

## Systemes de culture étudiés

Systèmes Colza - Blé – Orge 	Systèmes Tournesol - Blé dur en sec 	Systèmes Monoculture de maïs irriguée 
<p><b>PI sans labour en semis direct sous couvert</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pas de désherbage mécanique (minimiser le temps de travail)</li> <li>■ Colza - Blé - Orge - Sorgho - Féveroles - Moutarde - Triticale - Colza</li> </ul>	<p><b>Bas intrants</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réduction de 50% l'IFT / système conventionnel</li> <li>■ Blé - Sorgho - Tournesol - Blé</li> </ul>	<p><b>Bas intrants avec désherbage mécanique, CI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réduction de 50% de l'utilisation des herbicides et 25% N et eau, implantation en strip-till dans le mulch</li> <li>■ Maïs - <i>Ray grass hybride</i> + <i>Trèfle</i> - Maïs</li> </ul>
<p><b>PI sans désherbage mécanique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aucune contrainte en termes de travail du sol (gestion du stock de graines)</li> <li>■ Blé - Colza - Blé - Triticale - Maïs - Féveroles - Blé - Orge - Colza - Blé - Soja</li> </ul>	<p><b>Bas intrants, CI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réduction de 50% l'IFT / système conventionnel</li> <li>■ Trèfle - Blé - <i>Phacélie</i> + <i>Vesce</i> - Sorgho - Tournesol - <i>Luzerne</i> - <i>Trèfle</i> - Tournesol - <i>Luzerne</i> + <i>Trèfle</i> - Blé - <i>Moutarde</i> + <i>Vesce</i></li> </ul>	<p><b>Techniques culturales sans labour, CI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réduction de 50% des transferts d'herbicides</li> <li>■ Maïs - <i>Vesce</i> + <i>Phacélie</i> + <i>Avoine</i> - Maïs - <i>Vesce</i> + <i>Phacélie</i> + <i>Avoine</i> - Maïs - Féveroles + Sorgho - Maïs</li> </ul>
<p><b>PI typique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Désherbage mécanique, herbicides</li> <li>■ Blé - Betterave - Triticale - Féveroles - Blé - Colza - Blé - Maïs - Blé - Orge - Triticale + Pois</li> </ul>	<p><b>Très bas intrants avec cultures associées</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réduction de 75% l'IFT / système conventionnel</li> <li>■ Soja + Tournesol - Féverole + Triticale - Blé + Pois - Tournesol + Soja</li> </ul>	<p><b>Rotation courte, CI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réduction de 50% de l'utilisation des herbicides, N et eau</li> <li>■ <i>Vesce</i> + <i>Phacélie</i> - Maïs - Avoine - Soja - <i>Moutarde</i> - Blé</li> </ul>
<p><b>Sans herbicide</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Désherbage mécanique</li> <li>■ Blé - Féveroles - Triticale - Colza - Blé - Sorgho - Féveroles - Blé - Luzerne - Maïs - Luzerne - Blé</li> </ul>	<p><b>Très bas intrants avec cultures associées, CI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réduction de 75% l'IFT / système conventionnel</li> <li>■ <i>Phacélie</i> + <i>Avoine</i> - Soja + Tournesol - Féverole + Triticale - <i>Moutarde</i> + <i>Vesce</i> - Blé + Pois - <i>Vesce</i> + <i>Avoine</i> - Tournesol + Soja</li> </ul>	

➤ 14 systèmes étudiés : 3 conventionnels, 11 innovants

PI : Protection intégrée, CI : Culture intermédiaire (symbolisée en italique)

Mamy et al, 2017

# Références terrain en France sur des systèmes bas intrants

## Mesure des concentrations en pesticides dans l'eau



Systèmes Colza - Blé - Orge

Lysimètres à mèche  
Lysimètres à plaque poreuse  
Bougies poreuses  
➔ 50 cm de profondeur



Systèmes Tournesol - Blé dur en sec

Lysimètres à plaque poreuse  
➔ 100 cm de profondeur



Systèmes Monoculture de maïs irriguée

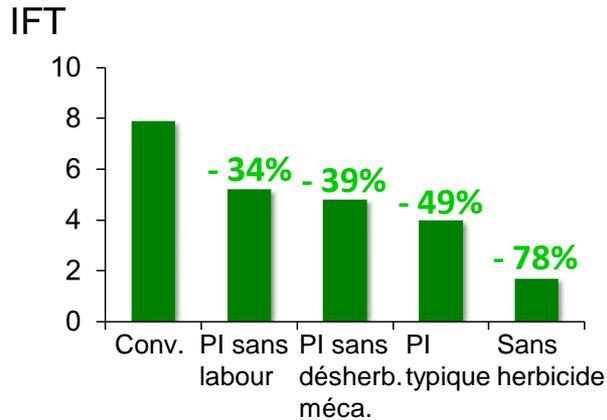
Lysimètres à plaque poreuse  
➔ 100 cm de profondeur



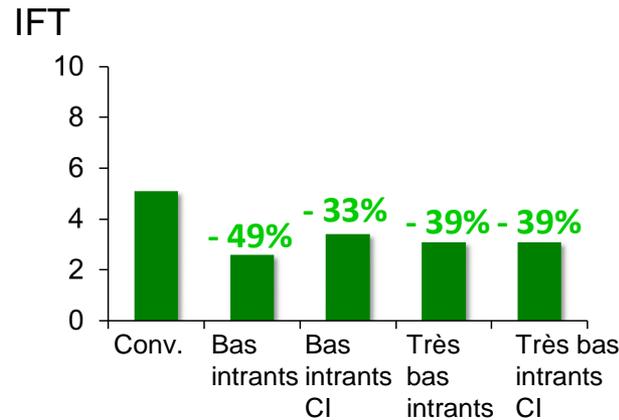
Mamy et al, 2017

## IFT des systèmes étudiés

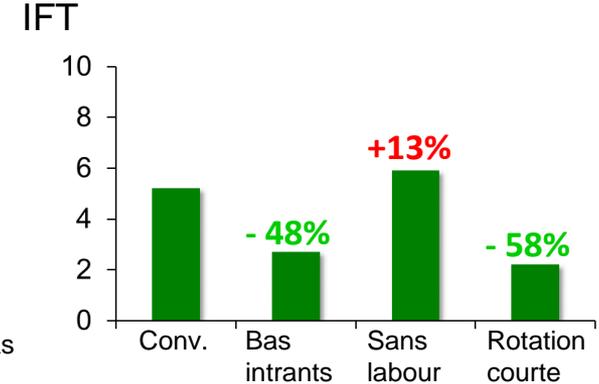
 Colza - Blé - Orge  
(Dijon-Epoisses, 2001-2015)



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



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



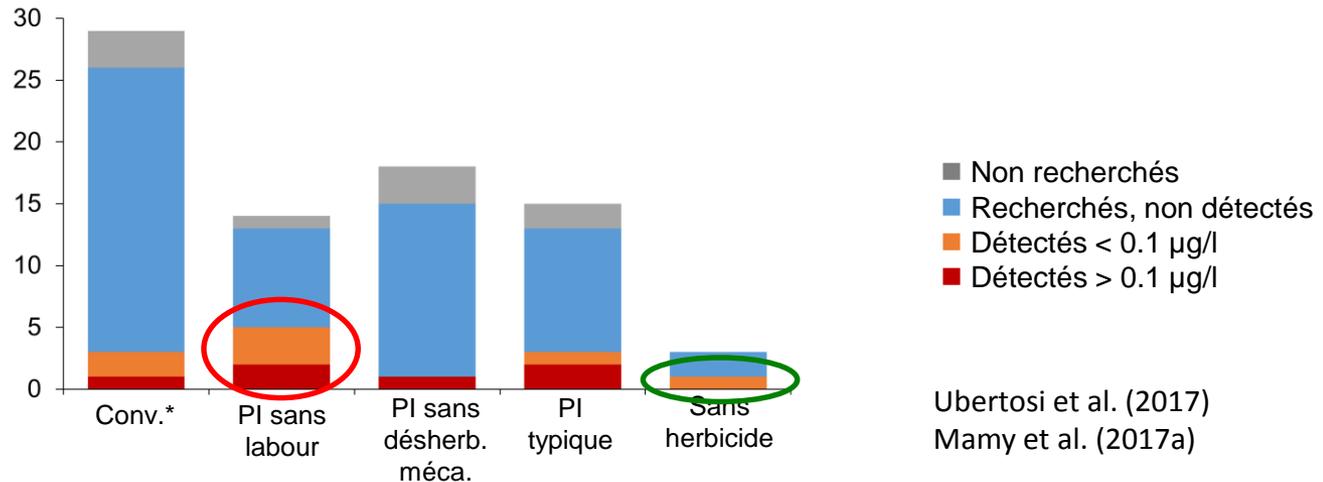
- ❖ Réduction maximale de l'usage des pesticides :
  - Colza - Blé - Orge : Système « Sans herbicide »
  - Tournesol - Blé dur en sec : « Bas intrants », mais IFT « Très bas intrants » > « Bas intrants » à cause des traitements de semences (2 cultures associées = 2 traitements)
  - Monoculture de maïs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

Mamy et al, 2017

## Transfert des pesticides : Systèmes colza-blé-orge



Nombre de pesticides différents, recherchés et détectés (2010-2014)



- ❖ 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

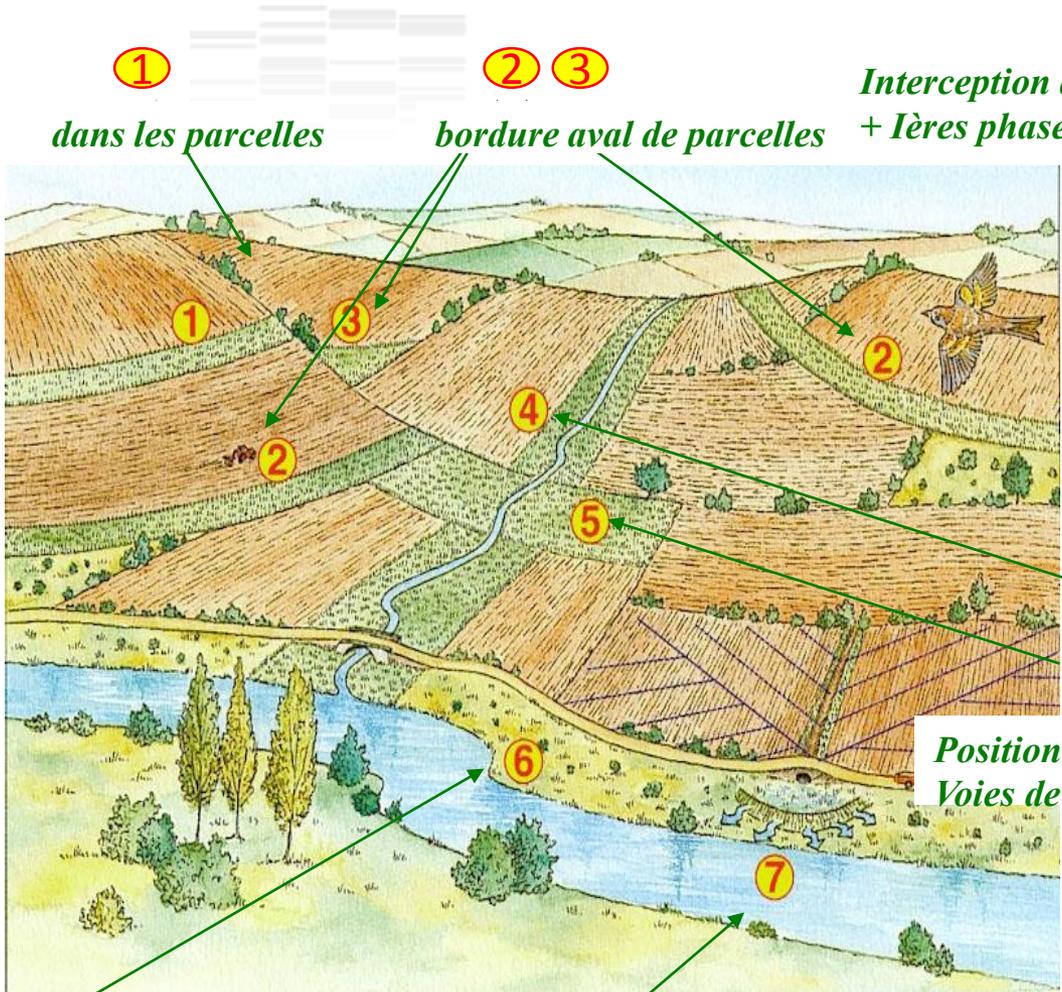
# Références terrain en France sur des systèmes bas intrants

## 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)**

Mamy et al, 2017

# Aménagements paysagers : autres leviers d'action complémentaires



*Interception du Ruissellement Diffus + Ières phases R. Concentré*

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

**4** *Chenaux enherbés*

**5** *Prairie fonds de vallons*

*Position de thalweg, vallons  
Voies de concentration du Ruissellement*

**6** *En aval : protection rivulaire*

**7** *Banquette de filtration*

CORPEN, 1997

# Boîte à outil

Polluant	NO <sub>3</sub>	P dissous NH <sub>4</sub>	P particulaire	Pesticides	Eléments traces	Bactéries, antibiotiques	Limites, effets secondaires
Type de levier							
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 <sub>2</sub> O, DON, Débits?
Haie, talus	+	+	+ à ++	+ à ++	+ à ++	+ à ++	Gestion, emprise
Bande enherbée	0	0 à +	+ à ++	+ à ++	+ à ++	+ à ++	Saturation, entretien
Fossés aménagés	+	+	+	+	?	+	Entretien, Hydraulique
Reméandrage	+	+	+ à ++	+ à ++	?	+?	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

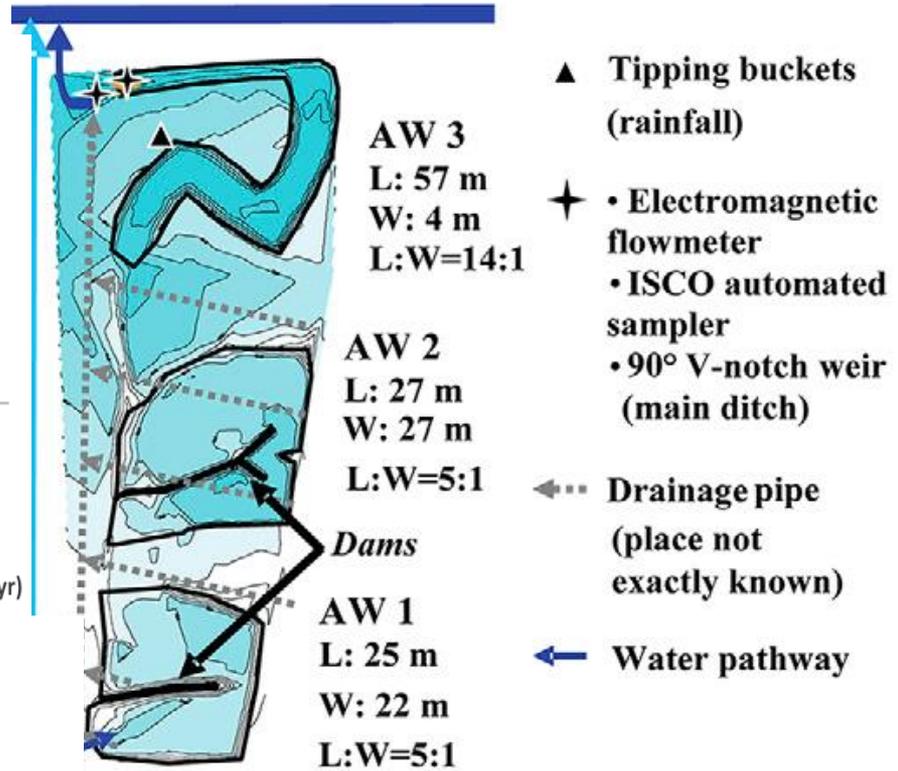
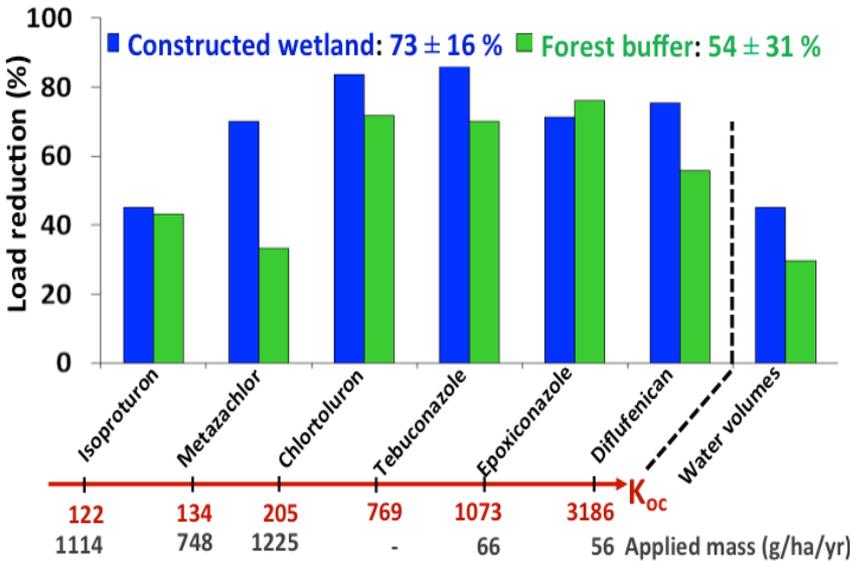
Forte variabilité des résultats en fonction du contexte et des conditions de mise en œuvre

Pour un même outil, résultats différents selon le polluant concerné

# Zones humides artificielles

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

Mesures en sortie de ZT

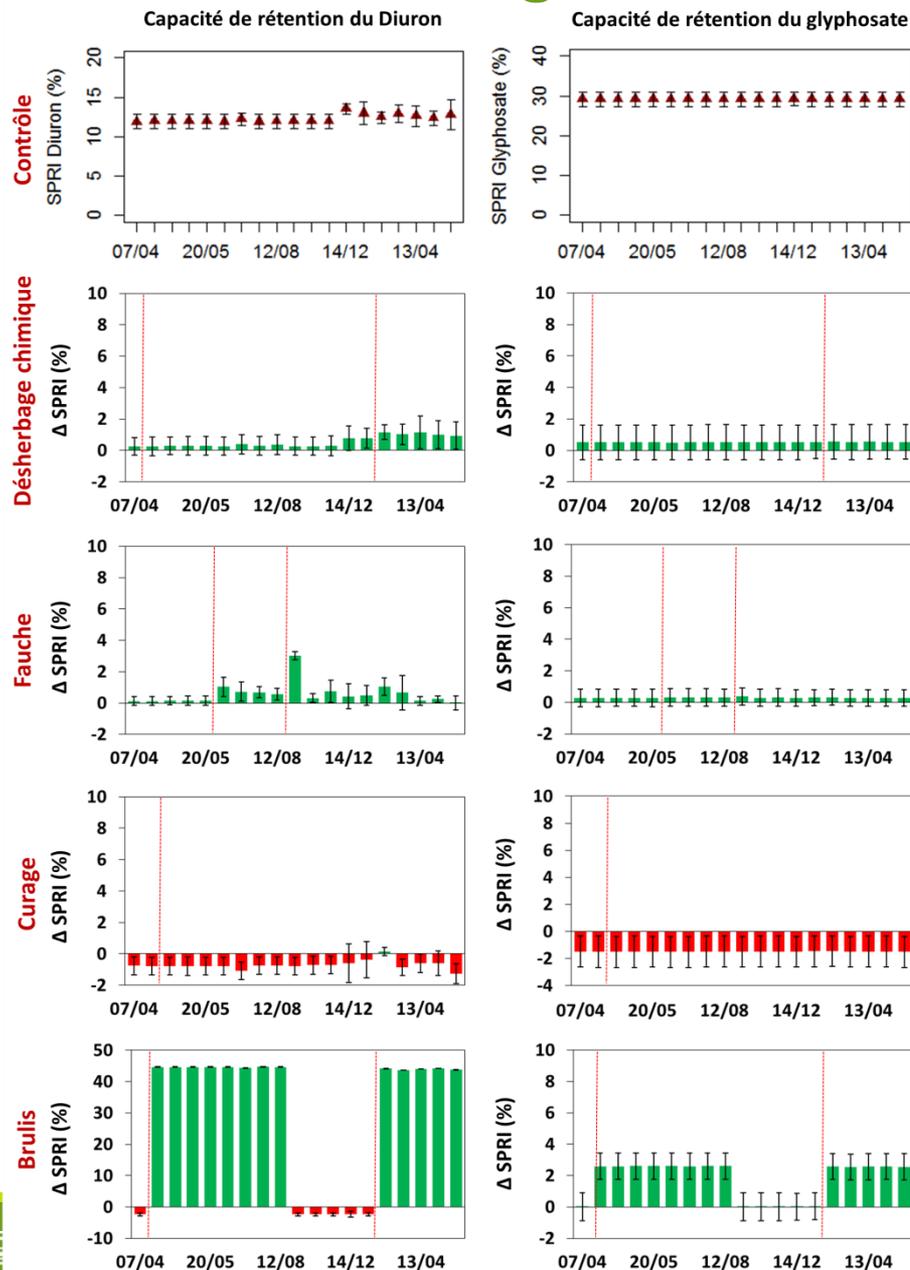


- Efficacité de la ZT = f (taux d'interception des flux drainés, temps de résidence, hydrologie)
- Rôle des courts circuits joués le réseau de drains
- Importance des processus de rétention et de dégradation (microbienne, photodégradation)

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



# 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)

## A retenir

Dimensionner, localiser, évaluer les dispositifs tampons

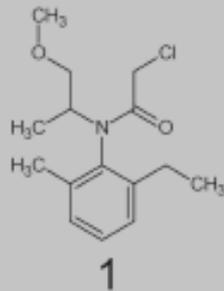
- La mise en place de ces dispositifs n'est pas sans coût,
- Leur efficacité est très variable, très dépendante du contexte, du positionnement dans le paysage, du design...
- Beaucoup sont multifonctionnels, mais favoriser une fonction peut se faire au détriment d'une autre : prévoir, arbitrer...
- Leur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



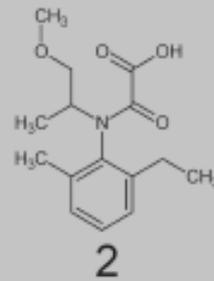
Autres diapositives - Exemples ciblés – certains composés

# Metolachlor

S-métolachlor



OA  
Oxalinic acid



ESA  
Ethane sulfonic acid

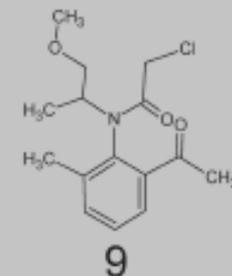
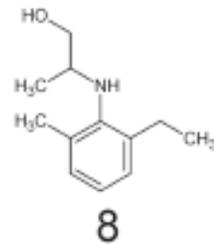
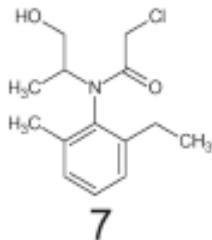
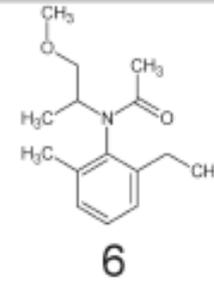
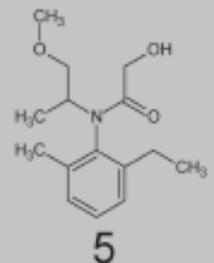
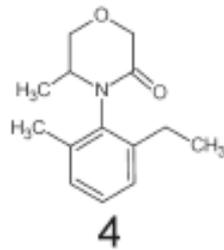
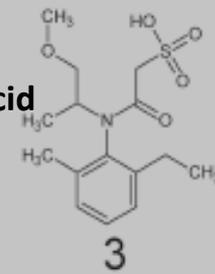
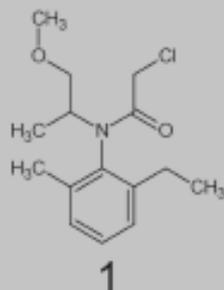


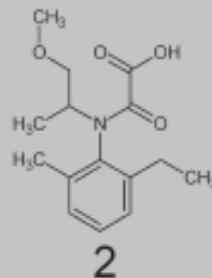
Figure 2. Structures of parent molecule and degradates evaluated in the present study in groundwater and soil incubation samples. Structures include (1) metolachlor, (2) metolachlor oxalinic acid, (3) metolachlor ethane sulfonic acid, (4) metolachlor morpholinone, (5) hydroxymetolachlor, (6) deschlorometolachlor, (7) desmethyl-metolachlor, (8) deschloroacetyl metolachlor propanol, and (9) phenyl alkyl-substituted metolachlor. Shaded structures indicate the molecules were detected during experiments.

# Metolachlor

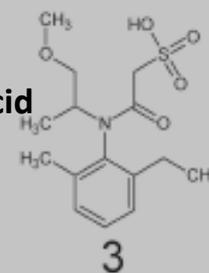
S-métolachlor



OA  
Oxalinic acid



ESA  
Ethane sulfonic acid



**Table 2.** Physicochemical characteristics of S-metolachlor, glyphosate and their respective metabolites

Compound <sup>a</sup>	Solubility (mg L <sup>-1</sup> )	Molecular mass (g mol <sup>-1</sup> )	Vapour pressure (mPa)	K <sub>oc</sub> (L kg <sup>-1</sup> )	t <sub>1/2</sub> (days)
S-metolachlor	480	283.8	3.7	114–196	9–16
OA	8500	165.2	–	5–20	50
ESA	na <sup>b</sup>	110.1	–	7–22	70–132

- OA et ESA plus persistants et plus mobiles
- Métabolites pertinents – souvent recherchés en surveillance qualité des eaux

the molecules were detected during experiments.

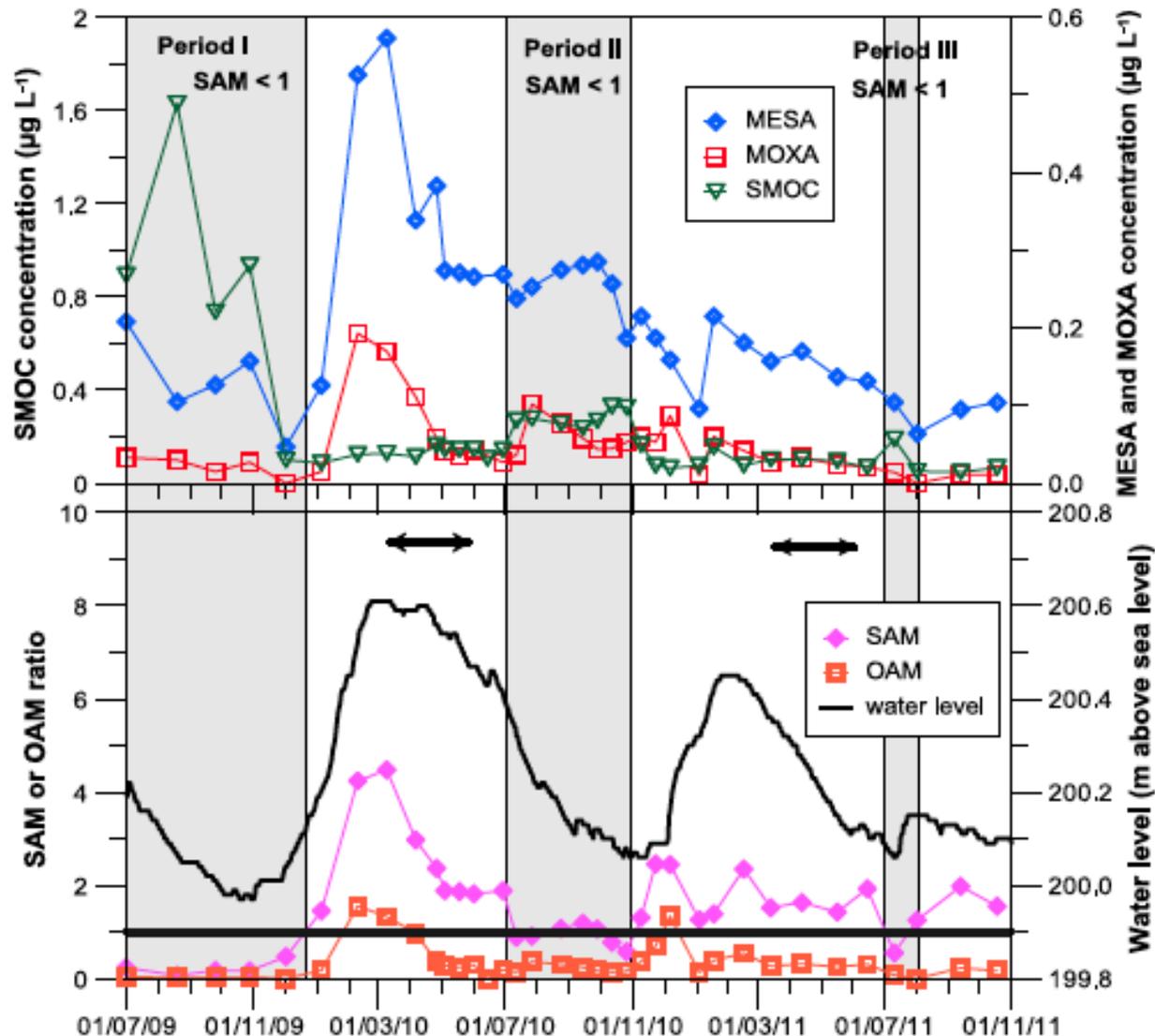
# Metolachlor



France Plaine de l'Ain  
Suivis Eaux Souterraines

Rapport Conc  
Métabolites  
S-métoclachlor

Périodes hydrologiques  
(niveau nappe)  
et période d'applications



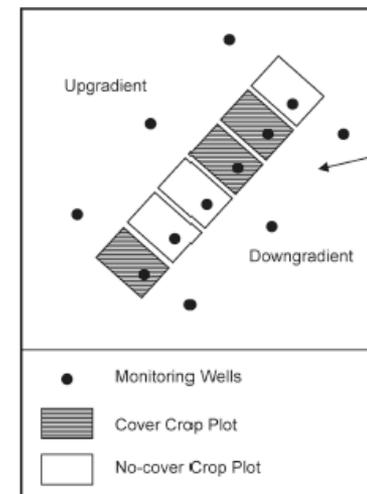
# Metolachlor



Table 2. Metolachlor and Degradate Detection Percentages in the Ground-water Wells for 2001–2003

analyte	season	in monitoring well (n)			
		UPGD	NOCOV	COVER	DNGD
		number of samples			
	pre app	6 <sup>a</sup> , 3 <sup>b</sup>			
	dry 01–02	42	42	42	42
	wet 02	33	33	33	33
	dry 02–03	33	33	33	33
		% detection			
metolachlor	pre app	100	100	100	100
	dry 01–02	97	100	100	100
	wet 02	97	100	100	100
	dry 02–03	97	100	100	100
MESA	pre app	0	0	0	0
	dry 01–02	41	46	21	23
	wet 02	9	96	83	58
	dry 02–03	12	100	77	45
MOA	pre app	0	0	0	0
	dry 01–02	0	0	0	0
	wet 02	0	24	0	0
	dry 02–03	0	40	0	0
degradate 9	pre app	0	0	0	0
	dry 01–02	0	13	3	0
	wet 02	0	66	30	0
	dry 02–03	0	84	13	0

<sup>a</sup> n for metolachlor. <sup>b</sup> n for MESA, MOA, and phenyl alkyl-substituted metolachlor.



USA

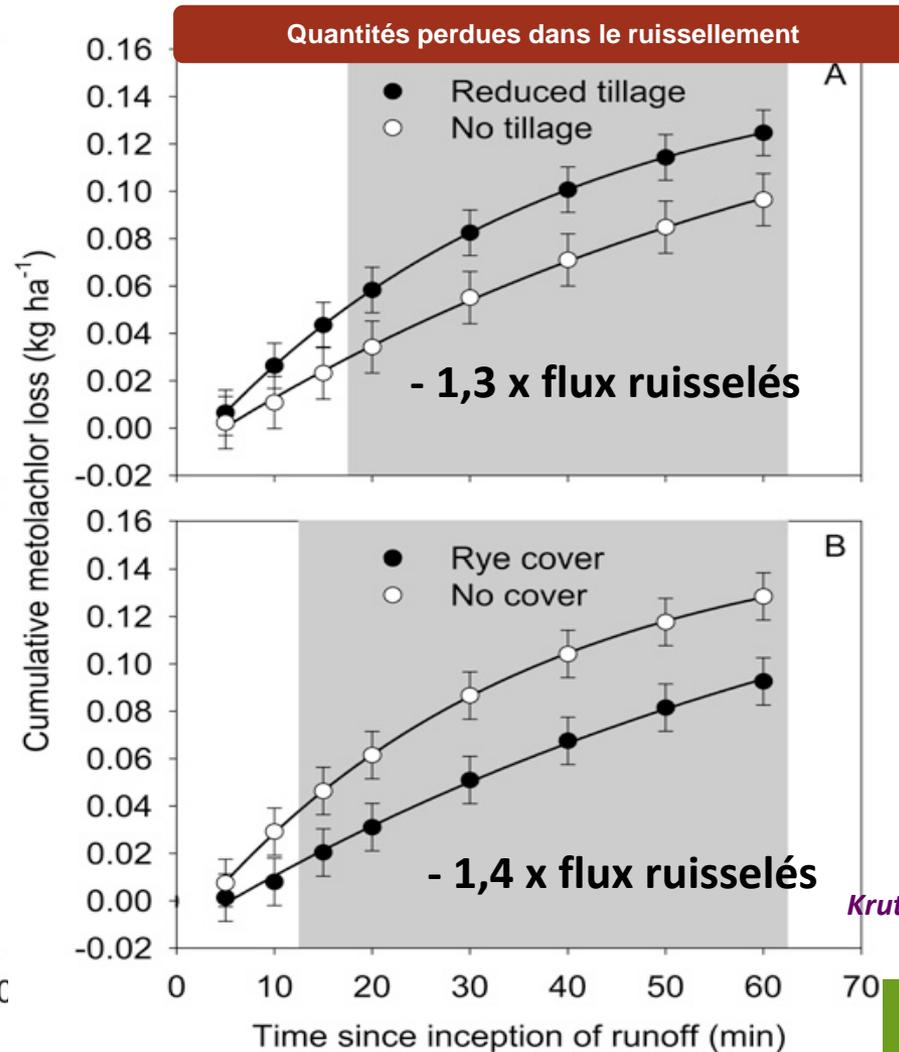
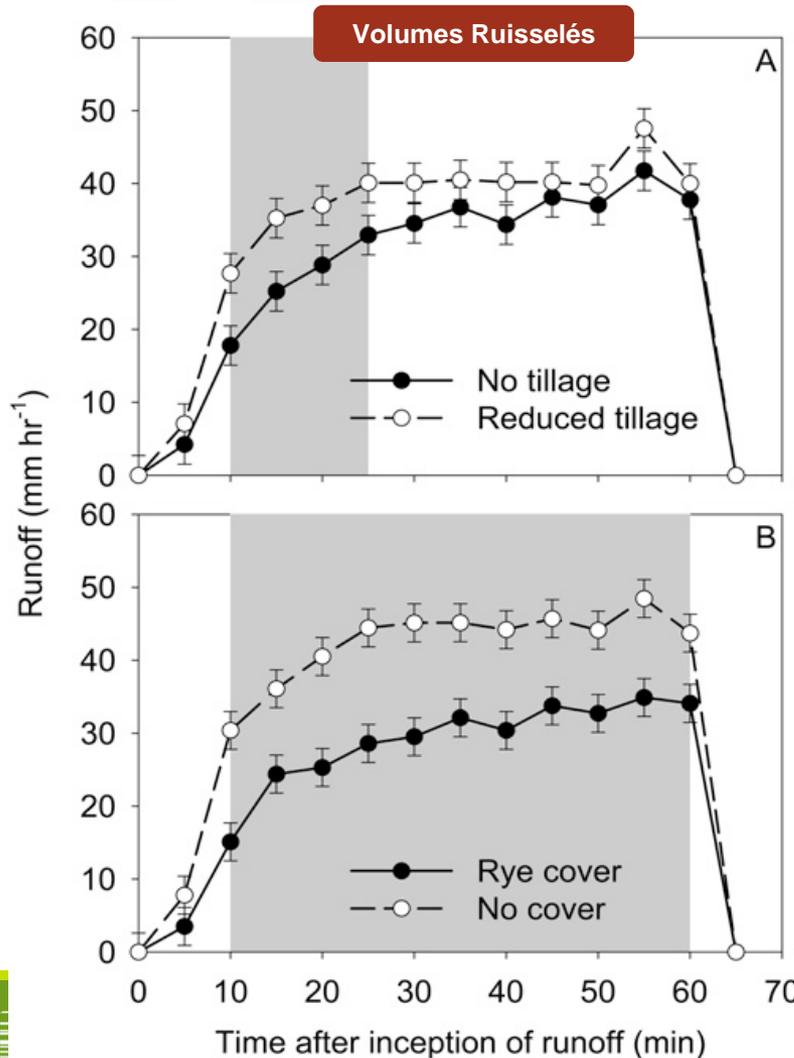
Suivis Eaux Souterraines

- Sous Maïs
- Avec ou sans couverts
- Période sèche ou humides

White et al., 2009

# Metolachlore

- Effets travail du sol vs effets couverts intermédiaires
- Ruissellement : Metolachlor – Microparcelle et simulation de pluie



*Krutz et al., 2009*

# A retenir : Métolachlor

## ❖ Mobilité et persistance au champ

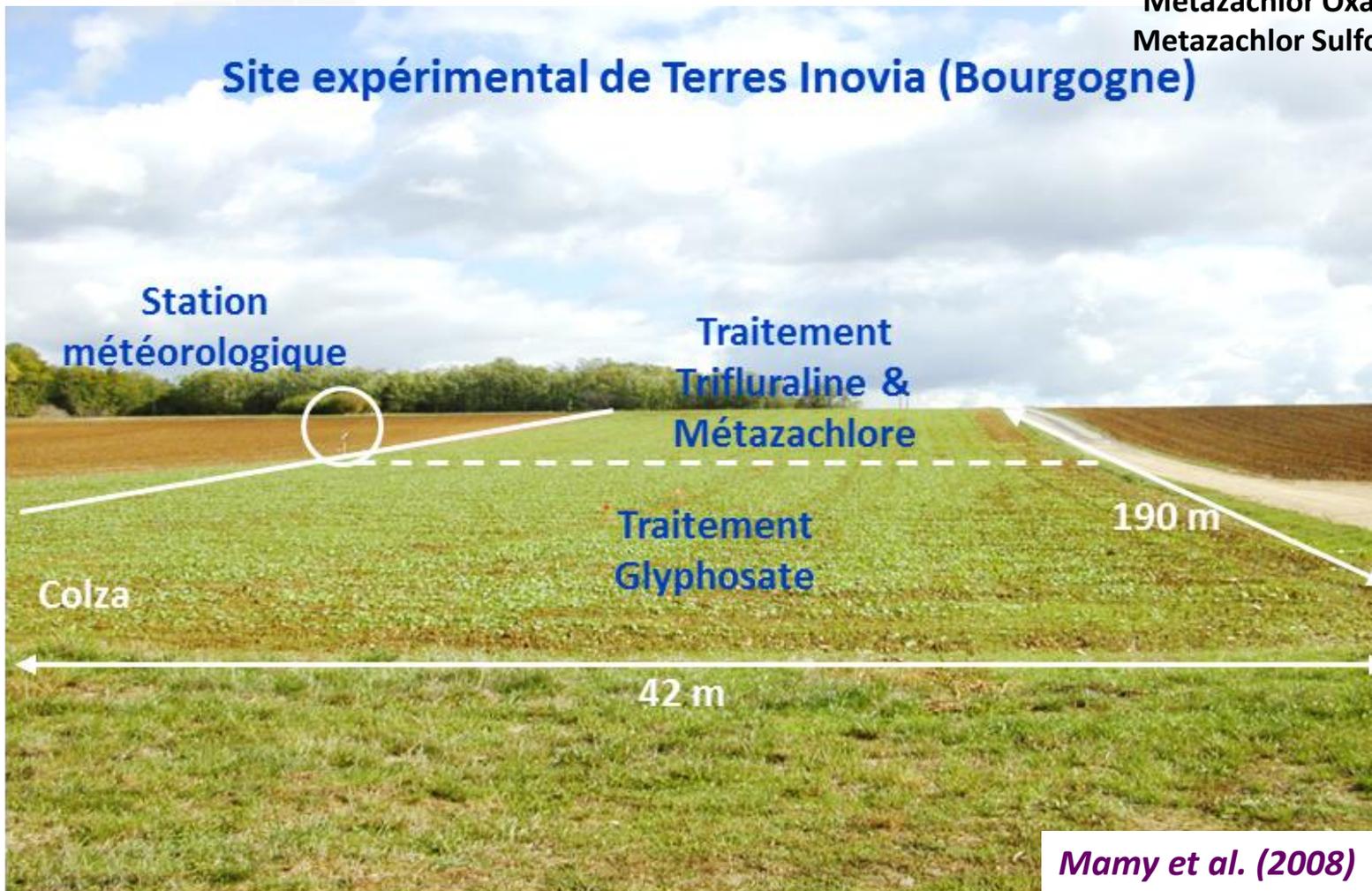
1. S-Métolachlor fréquemment retrouvé eaux souterraines
2. Métabolites plus fréquemment retrouvés et à des concentrations souvent plus élevées
3. Métabolites retrouvés plus longtemps après application
4. Rôle important de la gestion des intercultures et du travail du sol

# Exemple Herbicides colza (metazachlor)

Koc = 134L/kg  
Sw = 630 mg/L  
DT50 champ = 7 j

Métabolites pertinents :  
Metazachlor Oxalic Acid Koc = 45 L/kg  
Metazachlor Sulfonic acic Koc = 41L/kg

## Site expérimental de Terres Inovia (Bourgogne)



*Mamy et al. (2008)*

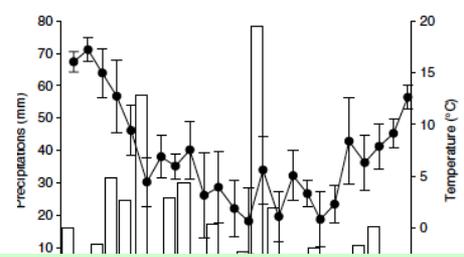
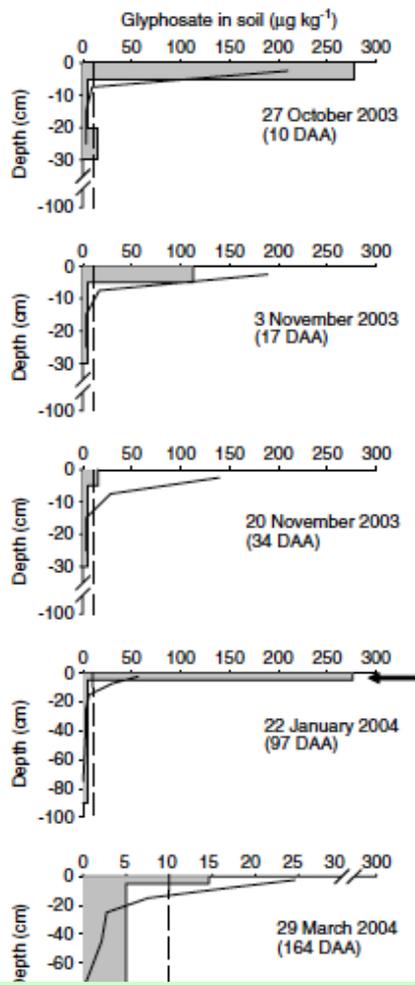
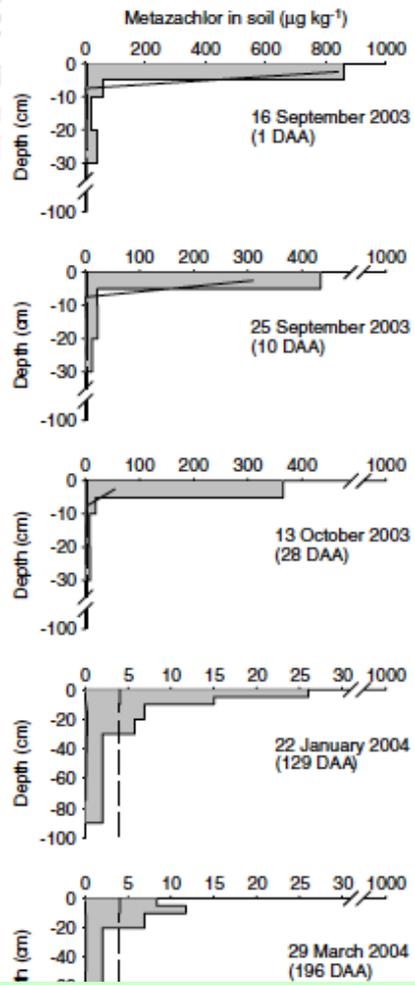
# Comparaison metazachlor et glyphosate (2003)

Koc= [29-73]L/kg  
 Sw = 450 mg/L  
 DT50 champ = 7j

Koc=[884-50600] L/kg  
 Sw = 10500 mg/L  
 DT50 champ = 25j

*Date d'application : 15 septembre 2003  
 Butisan Dose : 750 g/ha  
 LOQ : 4 µg kg<sup>-1</sup>*

*Date d'application : 20 octobre 2003  
 RoundUp Dose : 720 g/ha  
 LOQ : 10 µg kg<sup>-1</sup>*



**Persistence et mobilité dans le profil = combinaison d'effets**

- Vitesses des écoulements f (sol, climat, état de surface)
- Rétention des matières actives f (sol, molécule)
- Dégradation des matières actives f (sol, molécule)

# Rôle des adjuvants et des formulations

## Metazachlor 500 SC

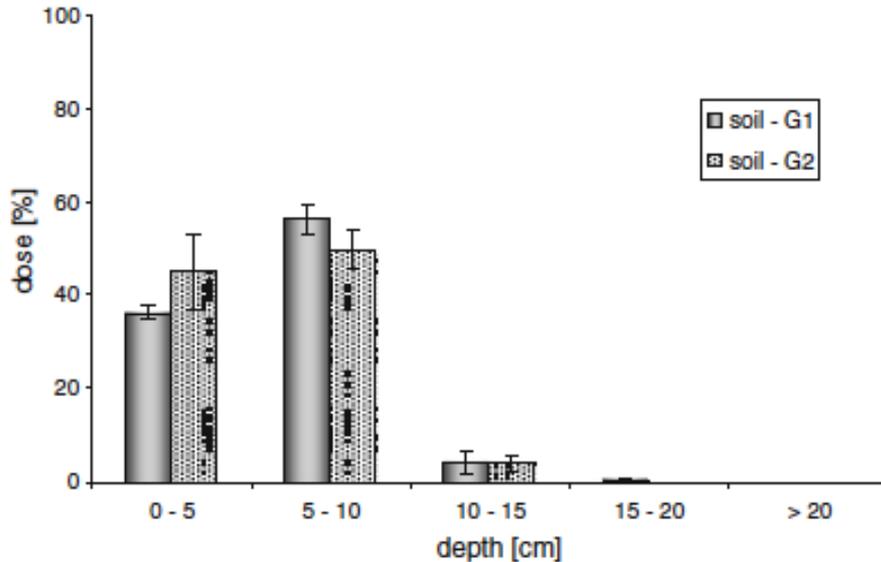


Fig. 2 Mobility of metazachlor as formulation SC in soil—mean maximum rainfall (40 mm)

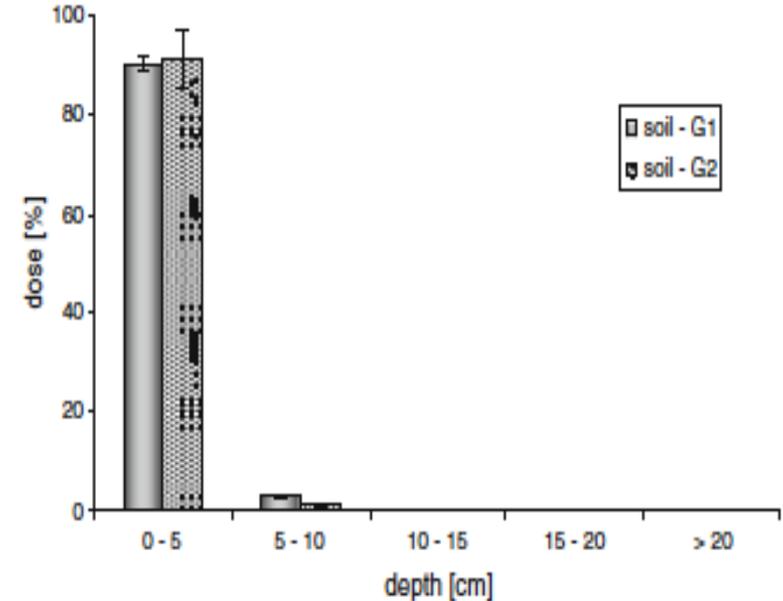


Fig. 4 Mobility of metazachlor immobilized in alginate matrix in soil—mean maximum rainfall (40 mm)

- ❖ Effets des formulations pour réduire la mobilité verticale
  - Augmenter l'efficacité des S.A
  - Réduire les risques de contaminations des eaux

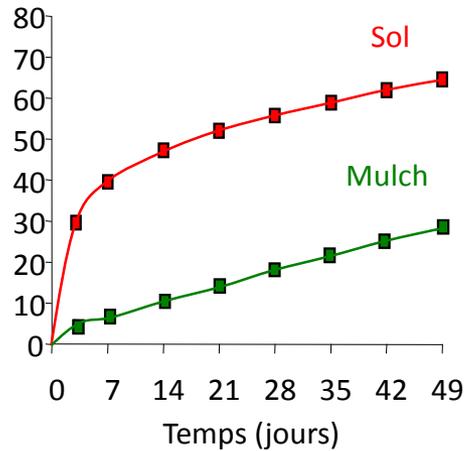
Włodarczyk , 2014

# Glyphosate

- Données dégradation / rétention (=> mobilité potentielle)

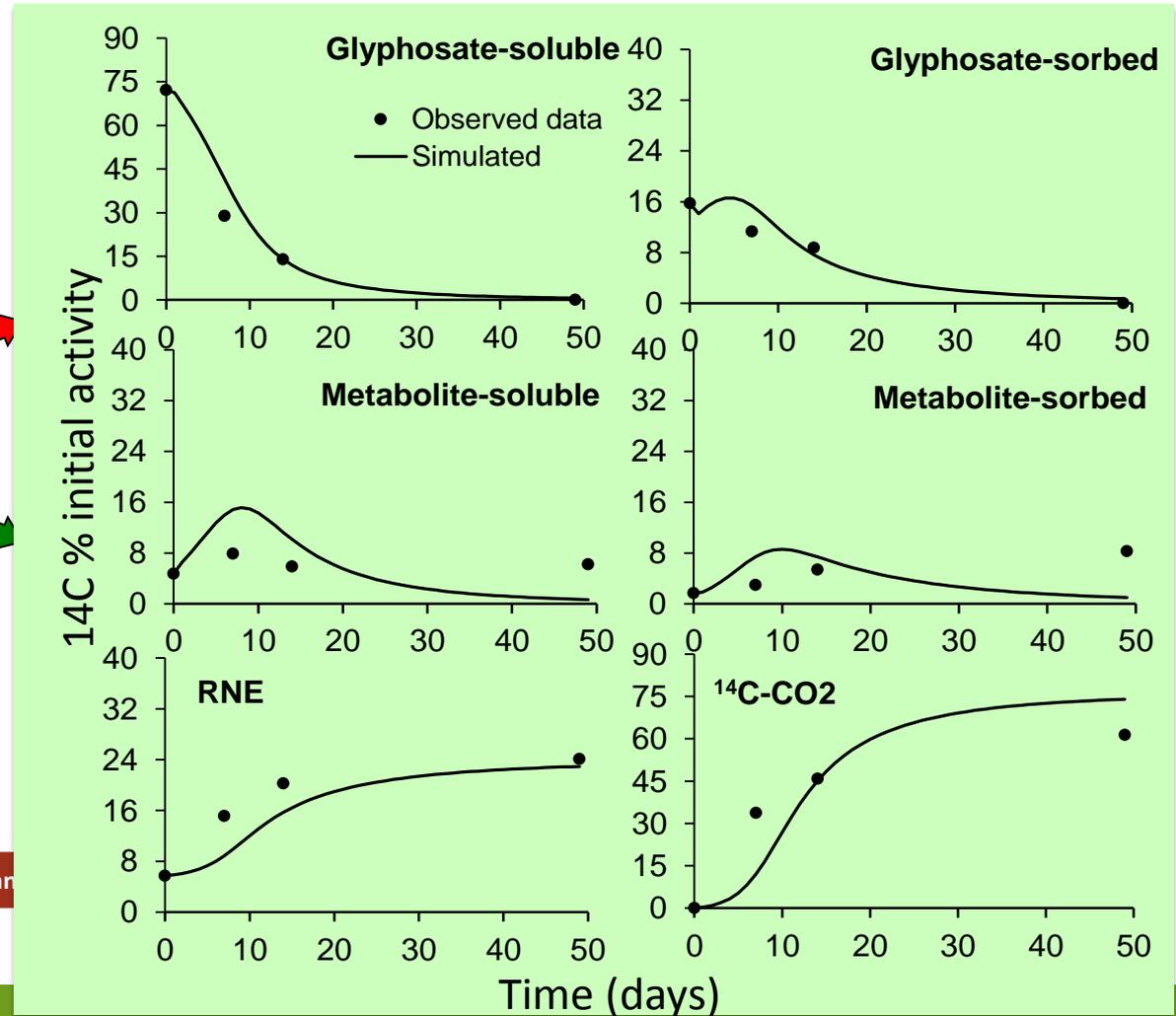
Modélisation du devenir sol (0-3 cm) et mulch

Glyphosate dégradé en CO<sub>2</sub> (% initial)



Rampoldi et al., 2011

Comportements très différents dans



Aslam et al. 2014

051

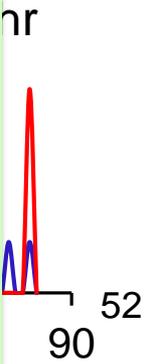
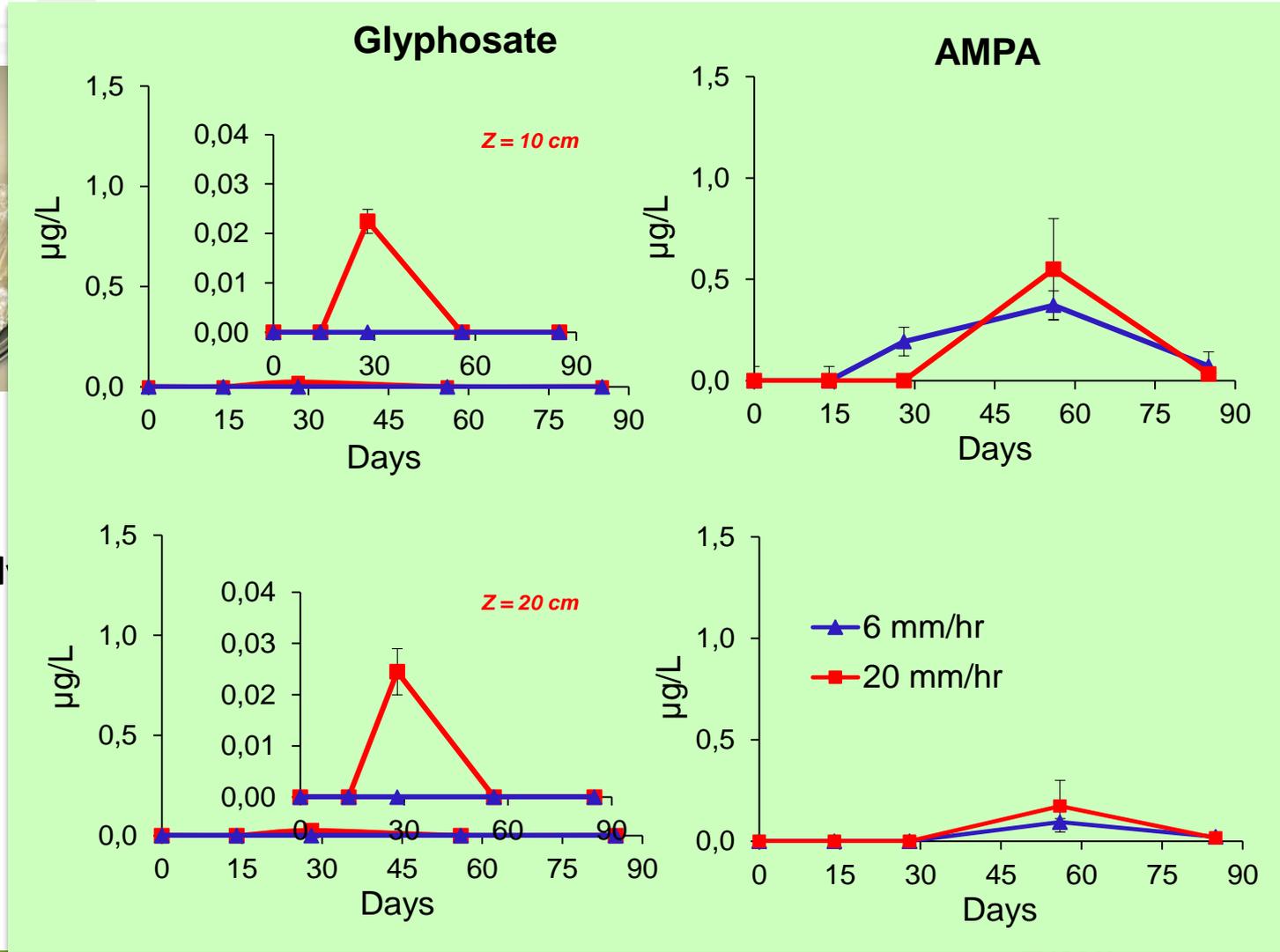
# Glyphosate

- Données mobilité potentielle x intensité et fréquence des pluies



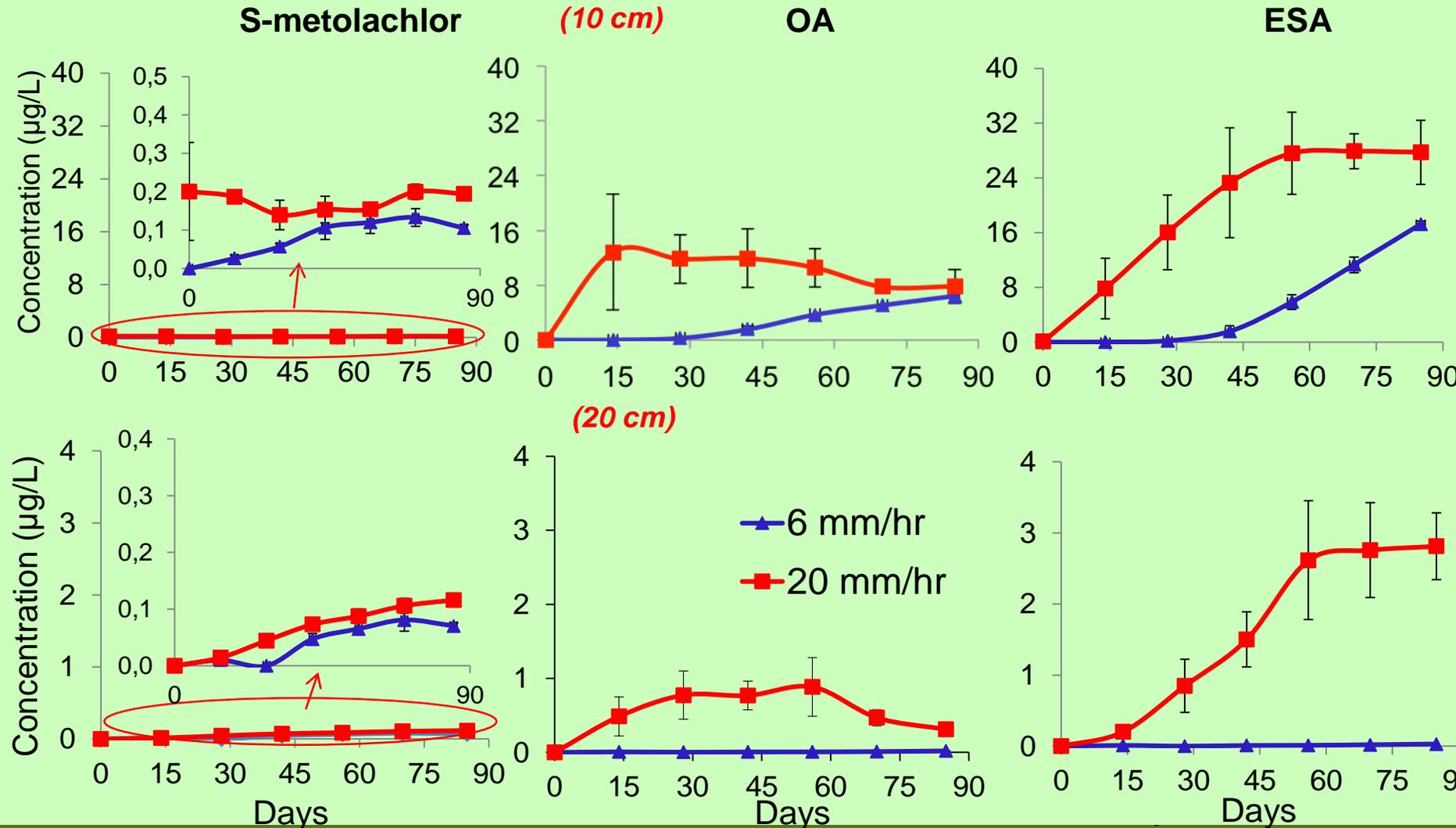
Sol limoneux

Application gl



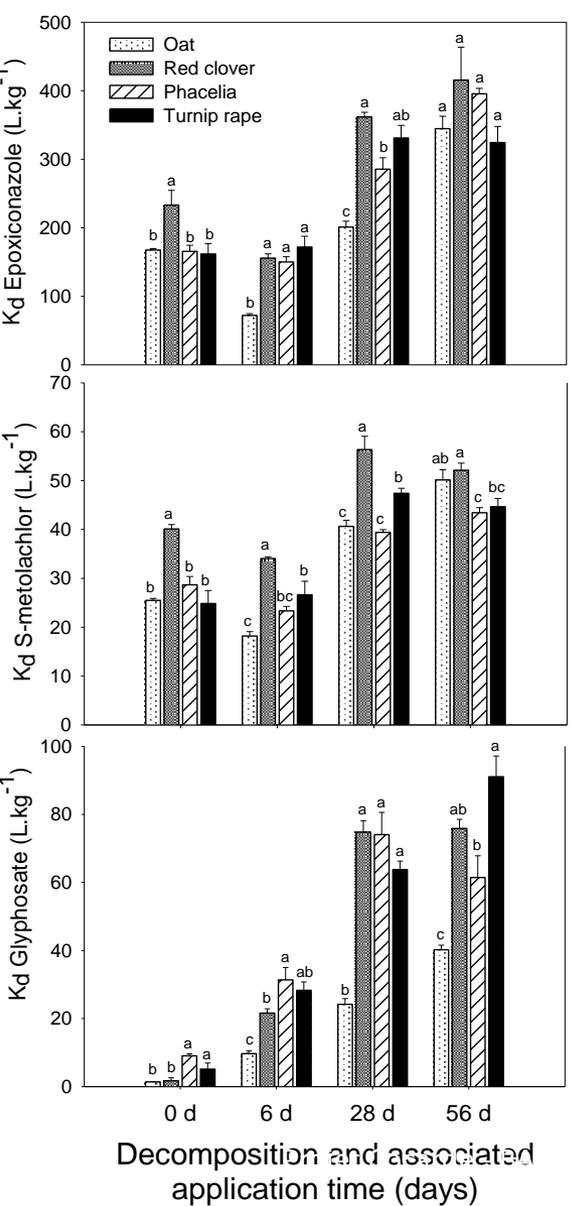
# S-Metolachlor

## S metolachlor (sol sous le mulch)



# Rétention par les résidus végétaux

Effets des cultures intermédiaires : recherche de descripteurs de l'adsorption



**Variation des propriétés de rétention des pesticides**

- Fonction des espèces de couverts intermédiaires et de leur décomposition (Cassigneul et al., 2015)



privé - 15 Janvier 2018

# A retenir : Glyphosate et AMPA

## ❖ Mobilité et persistance au champ

1. AMPA moins retenu et plus persistant : plus fréquemment détecté dans les eaux
2. Persistance glyphosate : données champ contradiction avec données laboratoire
3. Persistance glyphosate accrue en profondeur
4. Mouvements verticaux et risques eaux souterraines non nuls
5. Ces deux composés sont souvent retrouvés dans les horizons superficiels
6. Rôle des pptés des sols : pH, OC, présence de cations

*Mamy et al. (2008)*