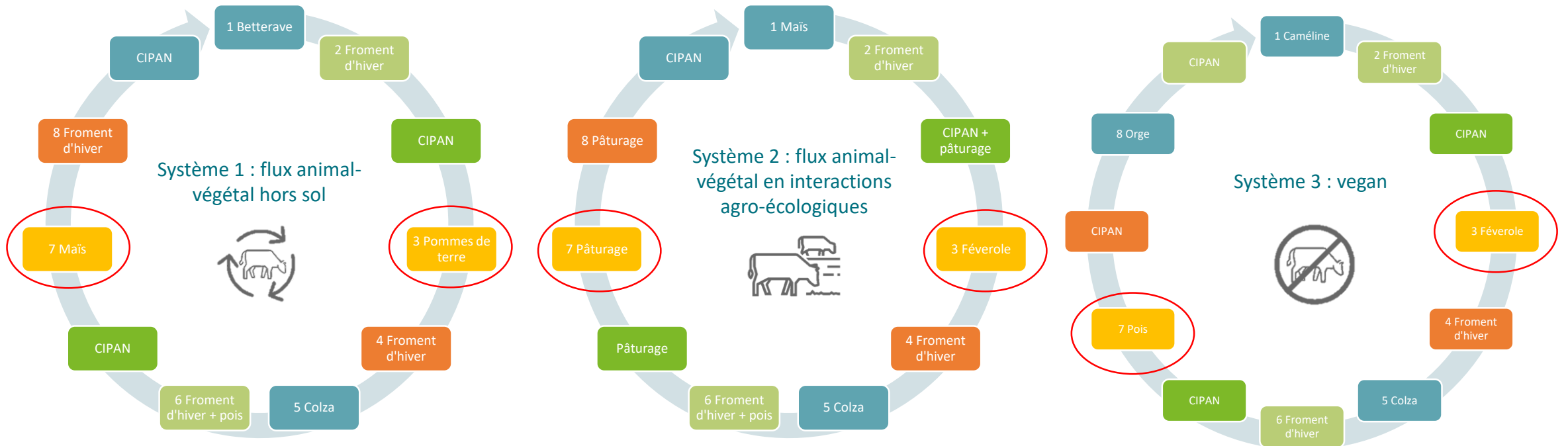


6^{ème} comité d'accompagnement : AIL4WaterQuality


Clémence Pirlot, Aurore Degré, Gilles Colinet, Nicolas Triolet (SPGE), Fanny Van Wittenberge (SPGE), Olivier Pigeon (CRA-W), Alodie Blondel (CRA-W), Nathalie Ducat (CRA-W), Simon Dierickx (Greenotec), Armelle Copus (Protect'eau), Maryse Wertz (SPW)

1. Introduction





Expérience structurante EcoFoodSystem – 3 rotations :

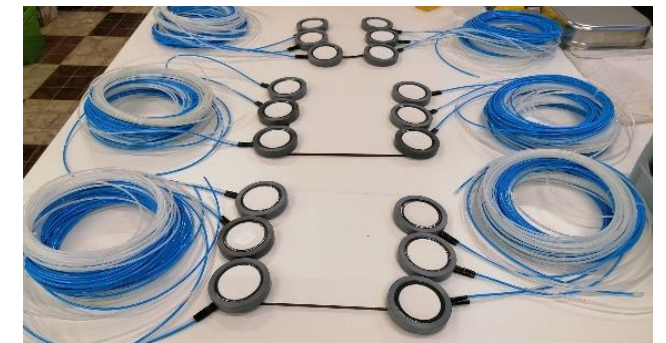


2. Objectifs

- Instrumenter l'expérience structurante
 - Fournir une base de données dynamique
 - Quantifier l'impact sur les propriétés hydrodynamiques et sur la qualité de l'eau
 - Compléter les connaissances sur le transfert des pesticides jusque dans les eaux
- 

3. Instrumentation AIL

-  Sondes de teneur en eau (Teros 12)
-  Sondes de potentiel hydrique (Teros 21)
-  Data loggers (ZL6)
-  Plaques de prélèvement de la solution du sol (Ecotech)



3. Instrumentation AIL

Année 1 : betteraves, maïs, caméline, colza



3. Instrumentation AIL

Année 2 : froment d'hiver (+ pois)



3. Instrumentation AIL

Année 3 : pommes de terre, féverolle, maïs, pois, prairie



4. Base de données



ZentraCloud = rapatriement des données



En 2023 :

- 100% des données récupérées
- Exception P6 du 23 – 31 mai



BD AIL en finition

⇒ Clés d'accès aux utilisateurs intéressés



5. Propriétés hydrodynamiques

Evolution de la teneur en eau en 2022



Dynamiques d'assèchement différentes

⇒ Impact culture précédente



T2 vegan > rendement



T1 phyto retient mieux l'eau (même rdt)



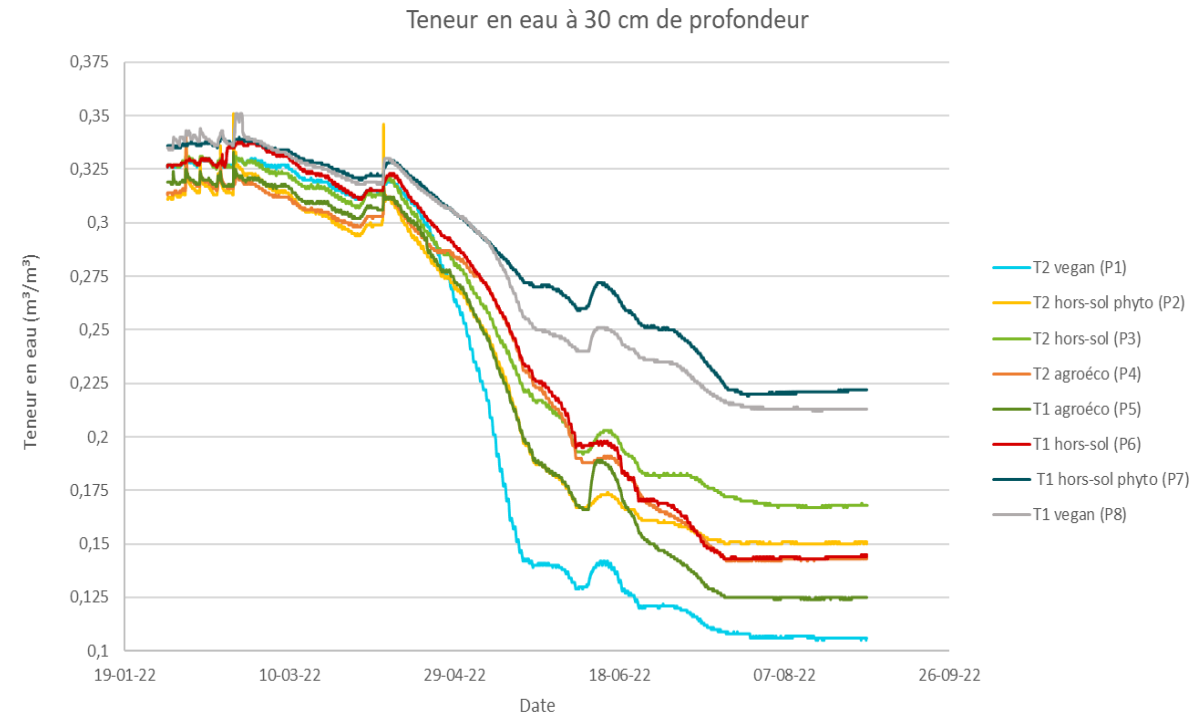
T1 vegan retient mieux l'eau, > rdt et > reliquats

⇒ Travail du sol réduit, faible compaction et > MO



T1 agroéco = retient moins l'eau

⇒ Récolte précoce et système racinaire différent



5. Propriétés hydrodynamiques

Evolution de la teneur en eau en 2023



Dynamiques d'assèchement différentes

⇒ Impacts cultures 1^{ère} /3^{ème} année



Tendances similaires à 2022

⇒ T2 vegan plus basse (pois + mauvaises herbes)

⇒ T1 phyto retient mieux l'eau

⇒ T1 vegan (féverole) > autres : caméline et MO?

⇒ T1 hors-sol (pdt) : structure buttage

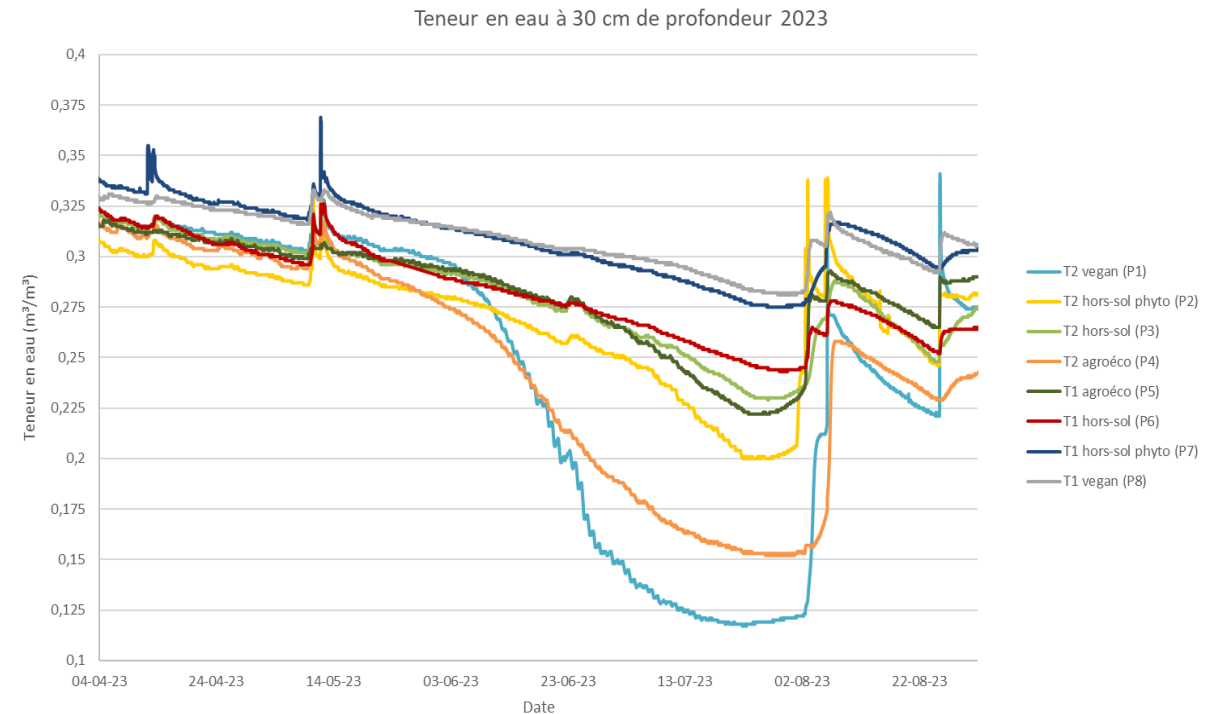
⇒ T1 agroéco (féverole) : maïs ?

⇒ Grande influence de la 1^{ère} année



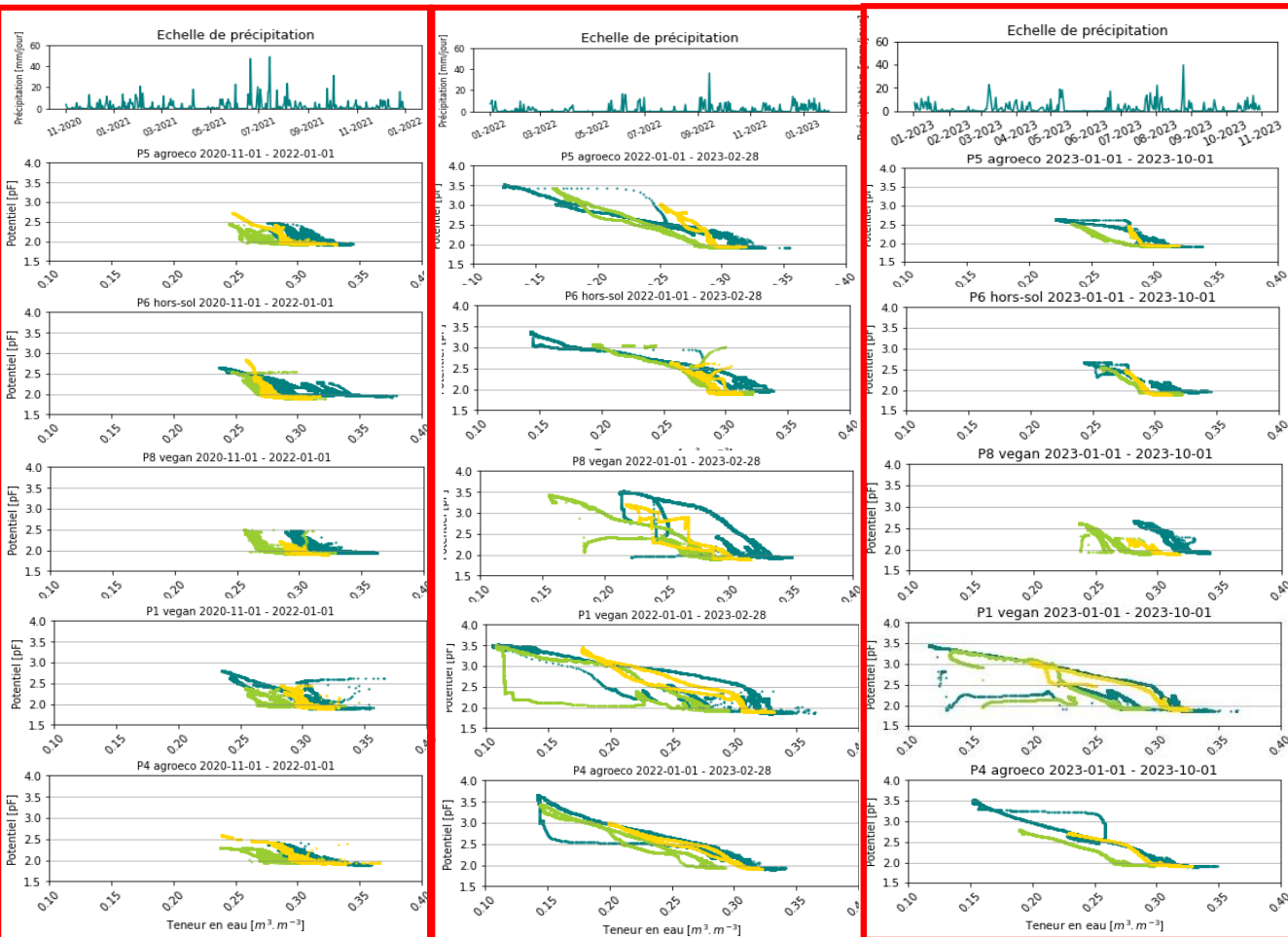
Tendances différentes à 2022

⇒ T2 agroéco < (prairie) : couvert dense, pas de travail et pâturage



5. Propriétés hydrodynamiques

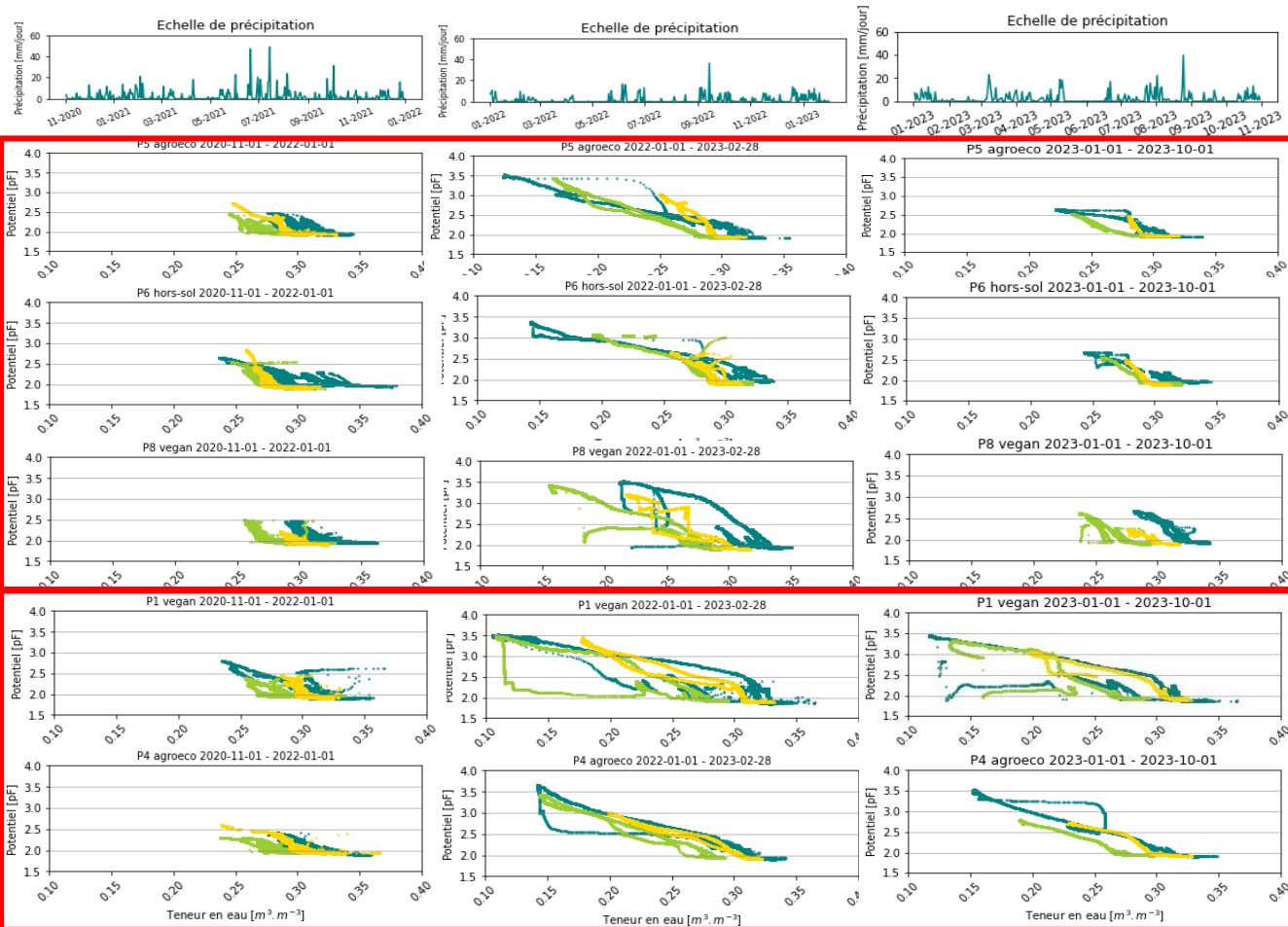
Courbes de rétention annuelles



- ◆ Année 1 : très humide et eau constamment disponible
 - ◆ Année 2 : très sèche avec hystérèse bien visible
 - ◆ Année 3 : intermédiaire avec comportements variés $T1 \neq T2$
- ⇒ Influence cultures année 3
- ◆ Courbes erratiques = modifications structure du sol
- ⇒ Pas constantes comme souvent considérées

5. Propriétés hydrodynamiques

Courbes de rétention annuelles



- ◆ Année 1 : très humide et eau constamment disponible
- ◆ Année 2 : très sèche avec hystérèse bien visible
- ◆ Année 3 : intermédiaire avec comportements variés T1≠T2

⇒ Influence cultures année 3

- ◆ Courbes erratiques = modifications structure du sol
- ⇒ Pas constantes comme souvent considérées

- ◆ H2 < H1 = galeries et macroporosité
- ◆ P1 T2 vegan + faible rétention
- ◆ P4 T2 agroéco = prairie : hystérèse autre chemin
- ◆ P6 T1 hors-sol (pdt) = racines sup, buttage et densité couvert
- ◆ P8 T1 vegan + grande rétention

5. Propriétés hydrodynamiques

Evolution propriétés hydrodynamiques : année 2021



T2 colza = évolution de la structure du sol similaire



Infiltration des parcelles T2 >> T1



Impact de la présence de mauvaises herbes et binages plus nombreux = aération du sol



Impact récolte = compaction jusqu'à 90 cm en betteraves et pas en caméline



P7 hors-sol phyto



P6 hors-sol

5. Propriétés hydrodynamiques

Evolution propriétés hydrodynamiques : année 2022

- 🌾 P5 maïs < rétention = grande infiltration due aux racines profondes + structure plus compacte
- 🌾 P8 caméline > rétention = meilleure structure (résidus/pas de compaction), > MO 10% et > rdt T1
- 🌾 P1 vegan < teneur eau = > rdt que les autres parcelles
- 🌾 P7 phyto > rétention que T1 pour un même rdt = impact mauvaises herbes








P7 et P8 : froment d'hiver début



Froment d'hiver fin

5. Propriétés hydrodynamiques

Evolution propriétés hydrodynamiques : année 2023

-  H2 = structure plus aérée que H1 = galeries et trous des racines
-  P5 T1 agroéco > rétention ≠ année 2022 = impact de la féverole et MO (5%)
-  Pdt > teneur en eau : racines sup, buttage et couvert dense = sol plus aéré et eau dispo
-  Prairie < teneur en eau : couvert dense et sol plus compacte avec eau peu disponible
-  P8 caméline > rétention comme en 2022 = impact année 1 et année 3 féverole



P4 prairie



P5 féverole



P6 pommes de terre

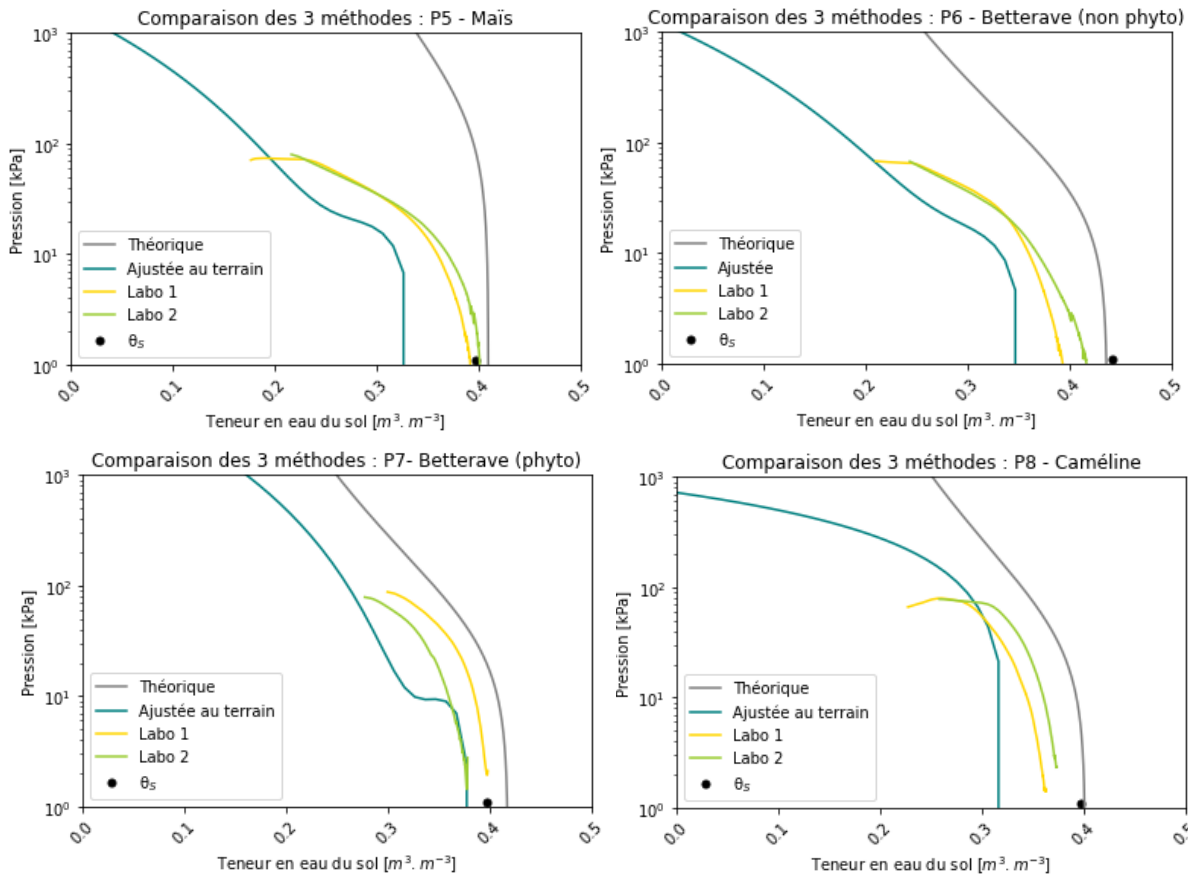
5. Propriétés hydrodynamiques

Comparaison théorie – labo - terrain

- 🔧 TFE Anne-Catherine sept-janv 2023
- 🔧 Comparaison des propriétés hydrodynamiques théoriques, en laboratoire et sur le terrain
- 🔧 Courbes théoriques = fonction de pédotransferts EU-HYDI : granulo, carbone orga et densité apparente
- 🔧 Courbes de laboratoire = échantillons en structure conservée + K_u -pF (méthode d'évaporation simplifiée)
- 🔧 Courbes de terrain = courbes uniques de novembre 20 à novembre 22 par ajustements polynomiaux



5. Propriétés hydrodynamiques



Comparaison courbes de rétention

- ◆ Courbes théoriques > = méthode de détermination
- ◆ Courbes de terrain < et plus étendues (limite à 9 kPa)
- ◆ Courbes labo entre les deux (limite à 100 kPa)

- ◆ Labo = variabilité temporelle et spatiale et ≠ comportement du sol
- ◆ Labo = combler en dessous de 9 kPa

- ◆ Théorique = mauvaise représentation

- ◆ Terrain = plus grande gamme de valeurs et évolution de la structure du sol prise en compte

5. Propriétés hydrodynamiques : conclusions

Impact des rotations sur les propriétés hydrodynamiques : cultures précédentes, travail du sol, racines, adventices et phyto

Rétention et conductivité évoluent au cours du temps => à prendre en compte dans les modèles

Théorie = mauvaise représentation

Labo ≠ comportement du sol mais complémentaire



Evolution de la structure du sol à court et moyen terme jusque 90 cm de profondeur

=> H2 plus aéré en raison des galeries et trous des racines

Résilience plus ou moins grande des systèmes face aux conditions climatiques extrêmes

6. Flux nitrate et pesticides

Evolution des flux de nitrate et de pesticides

Date/LOQ	Concentration (µg/L)								Nitrate (mg/l)
	Chloridazon	Desphenyl-chloridazon	Métazachlore	Métazachlore ESA	Métolachlore	Metolachlor ESA	Ethofumesate	Metamitron	
	0,006	0,021	0,020	0,051	0,030	0,050	0,050	0,025	0,1
240122 P1	0,019	7,581	0,065	0,096	<LOQ	0,552	<LOQ	<LOQ	85,7
240122 P2	0,016	10,683	<LOQ	18,587	<LOQ	0,891	<LOQ	<LOQ	103,1
240122 P3	<LOQ	8,635	<LOQ	0,102	<LOQ	0,147	<LOQ	<LOQ	106,8
240122 P4	<LOQ	7,709	<LOQ	0,139	<LOQ	0,134	<LOQ	<LOQ	131,9
240122 P5	<LOQ	5,355	<LOQ	0,163	<LOQ	0,486	<LOQ	<LOQ	66,4
240122 P6	<LOQ	6,958	<LOQ	0,094	<LOQ	0,482	<LOQ	<LOQ	13,3
240122 P7	<LOQ	6,127	<LOQ	0,148	<LOQ	1,867	<LOQ	<LOQ	16,6
240122 P8	0,011	5,549	<LOQ	0,154	<LOQ	0,485	<LOQ	<LOQ	47,1
180322 P1	0,009	7,330	0,047	0,132	0,215	0,822	0,098	<LOQ	117,8
180322 P2	0,010	10,944	<LOQ	18,279	<LOQ	1,636	<LOQ	<LOQ	124,9
180322 P3	<LOQ	7,734	0,130	0,122	2,128	0,222	<LOQ	<LOQ	138,1
180322 P4	0,009	7,908	0,043	0,230	0,154	0,128	<LOQ	<LOQ	151,5
180322 P5	0,009	6,526	<LOQ	0,180	0,066	0,436	<LOQ	<LOQ	69,8
180322 P6	<LOQ	7,199	<LOQ	0,090	0,081	0,539	<LOQ	0,026	16,4
180322 P7	0,008	6,327	<LOQ	0,183	<LOQ	1,343	<LOQ	<LOQ	20,6
180322 P8	0,010	5,275	<LOQ	0,160	0,099	0,242	<LOQ	<LOQ	56,8
100522 P1	0,010	5,346	<LOQ	0,359	<LOQ	0,954	<LOQ	<LOQ	142,1
100522 P2	0,010	7,886	<LOQ	13,745	<LOQ	2,393	<LOQ	<LOQ	120,6
100522 P3	0,008	5,975	<LOQ	0,495	<LOQ	0,606	<LOQ	<LOQ	142,8
100522 P4	0,009	5,864	<LOQ	0,419	<LOQ	0,403	<LOQ	<LOQ	153,9
100522 P5	0,012	5,321	<LOQ	0,103	<LOQ	1,508	<LOQ	<LOQ	78,1
100522 P6	0,008	5,721	<LOQ	0,080	<LOQ	1,057	<LOQ	<LOQ	27,5
100522 P7	0,011	5,340	<LOQ	0,231	<LOQ	2,592	<LOQ	<LOQ	30,9
100522 P8	0,012	4,060	<LOQ	0,142	<LOQ	0,663	<LOQ	<LOQ	67,2
020123 P1	<LOQ	4,616	<LOQ	0,074	<LOQ	0,720	<LOQ	<LOQ	104,5
020123 P2	<LOQ	5,881	<LOQ	5,708	<LOQ	1,074	<LOQ	<LOQ	22,2
020123 P3	<LOQ	6,772	<LOQ	0,125	<LOQ	0,784	<LOQ	<LOQ	68,7
020123 P4	<LOQ	5,409	<LOQ	0,145	0,087	0,654	<LOQ	<LOQ	83,4
020123 P5	0,019	4,867	<LOQ	0,099	<LOQ	0,818	<LOQ	<LOQ	52,5
020123 P6	<LOQ	4,926	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,045	<LOQ	<LOQ	28,5
020123 P7	0,021	4,720	<LOQ	0,179	<LOQ	0,705	<LOQ	<LOQ	32,6
020123 P8	0,020	4,195	<LOQ	0,164	<LOQ	0,309	<LOQ	<LOQ	15,9



Valeur max potable nitrate = 50 mg/l



Valeur max pesticides = 0,1 µg/l



Peu de pesticides parents



Grandes concentrations en métabolites depuis 2021



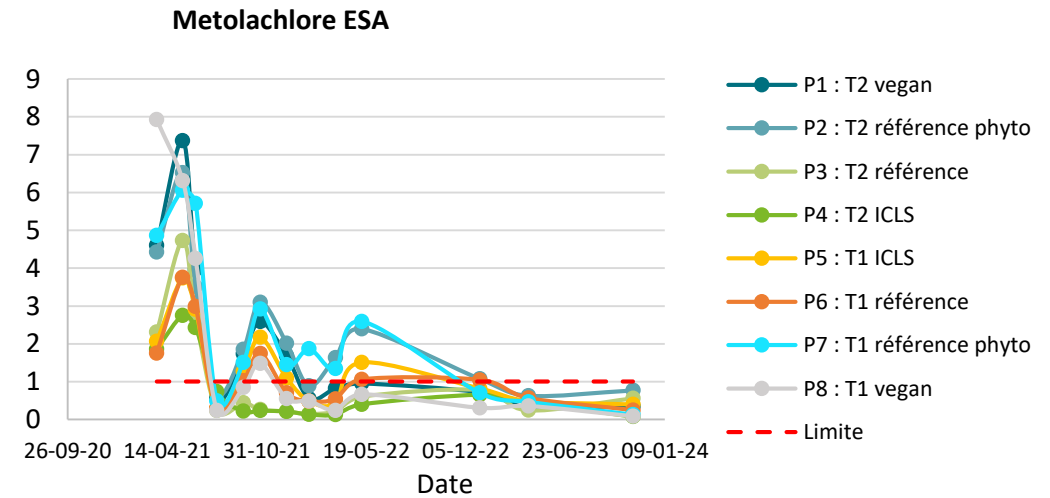
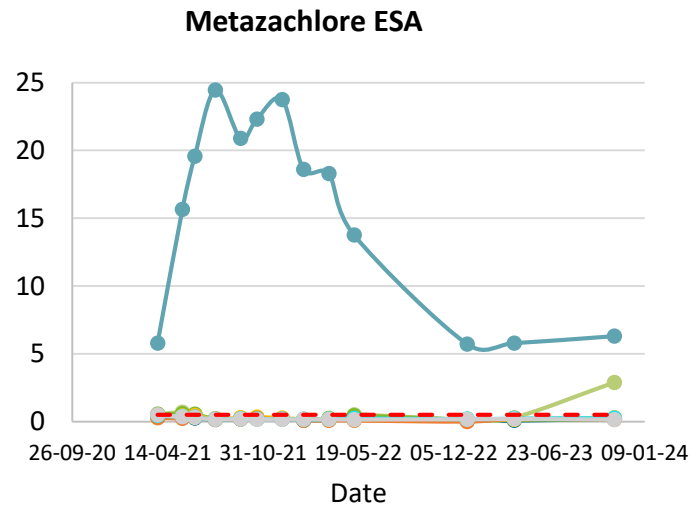
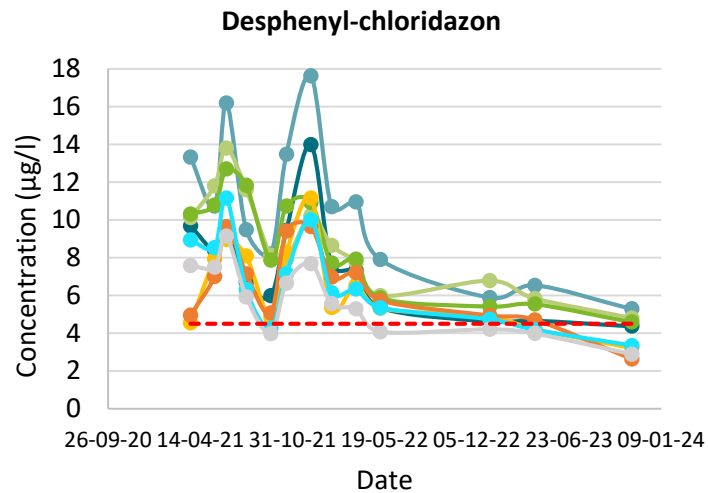
Nitrate retrouvé en grande concentration en 2022

6. Flux nitrate et pesticides

- Chloridazon en 2012 et [] faibles
- Persistent et fortement lixiviable
- [] > 4,5 µg/l ensemble parcelles
- Diminution depuis décembre 21
- < limite parcelles T1 en 2023

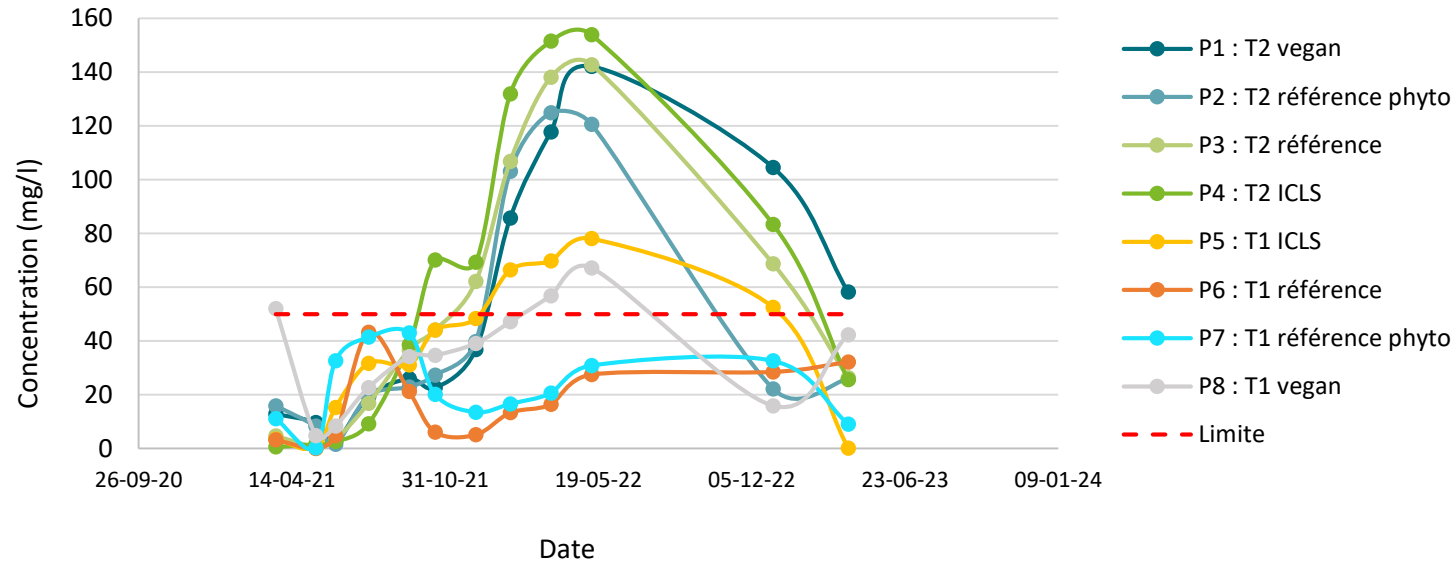
- Métazachlore novembre 20 sur P2
- [] élevée en P1/P2 récolte colza
- Méta ESA : ensemble des analyses
 - > limite pour P2
- Diminution mais reste > après 3 ans

- Métolachlore en mai 2018
 - Méto ESA partout
 - Diminution depuis 21
 - > Seuil en 2023



6. Flux nitrate et pesticides

Concentrations en nitrate mars 21 - mars 23



Reliquats azotés		
Date	Parcelle	Reliquat kg N/ha
11-03-22	1	21,13
11-03-22	2	19,43
11-03-22	3	19,6
11-03-22	4	18,62
11-03-22	5	8,98
11-03-22	6	7,98
11-03-22	7	7,45
11-03-22	8	17,25



P1-4 = 112 puis 110 U sur colza en 2021

T2 > T1 car ferti importante colza et relargage après récolte et déchaumage

Reliquats azotés T2 > T1

Mai 22, diminution malgré la ferti froment en avril 22 puis < seuil en 23 sauf P1



P5 = 163 U sur maïs en 21 et rien en 23

Grosses pluies + récolte en nov 22

Reliquats azotés faibles

< Seuil en 2023



P6-7 = 79 U sur betteraves en 21 et 96 U sur pdt en 23

Concentrations < valeur seuil

Plus faibles reliquats azotés



P8 = aucune ferti en 21 ni en 23

Lixiviation des parcelles alentours et relargage après récolte septembre 21

Récolte, broyage des résidus et déchaumage = reliquats azotés élevés > T1

6. Flux nitrate et pesticides : conclusions

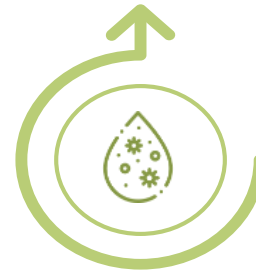
Impact des pratiques agricoles sur l'évolution des flux de nitrate et pesticides



Peu de pesticides parents même parcelles phyto



Métabolites en grandes concentrations après des années mais tendance à l'épuisement

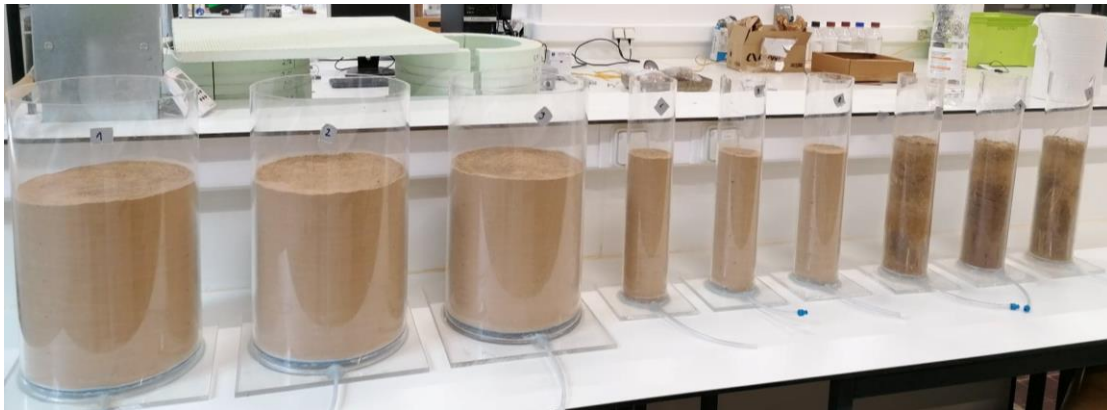


Concentrations en nitrate très élevées T2 colza mais ensemble des parcelles < seuil en 23



7. Expériences de lixiviation de pesticides

1. Tests préliminaires = choix des modalités d'expérimentation
2. Test pour affiner la méthodologie
3. Première expérience au carotteur = flux préférentiels le long des parois
4. Expérience finale de lixiviation des pesticides



7. Expériences de lixiviation de pesticides

Méthodologie



Prélèvements des
15 colonnes

Trois horizons (0-30; 30-60 et
60-90 cm) et trois cultures
(betteraves, maïs, caméline)

Montage

Dispositif de récolte de
l'eau, pompe à vide et
aluminium

Préparation

Paraffine, saturation et
drainage 24h

Bouillie

1 L de bouillie de
pesticides aux doses max

1

2

3

4

5

6

7

8

Pulse

5 ml bouillie + 5 ml de
rinçage

Volume d'eau

Volumes d'eau appliqués
en fonction de l'éluion
(entre 200 et 400 ml)

Durée

57 jours pour toutes les
colonnes

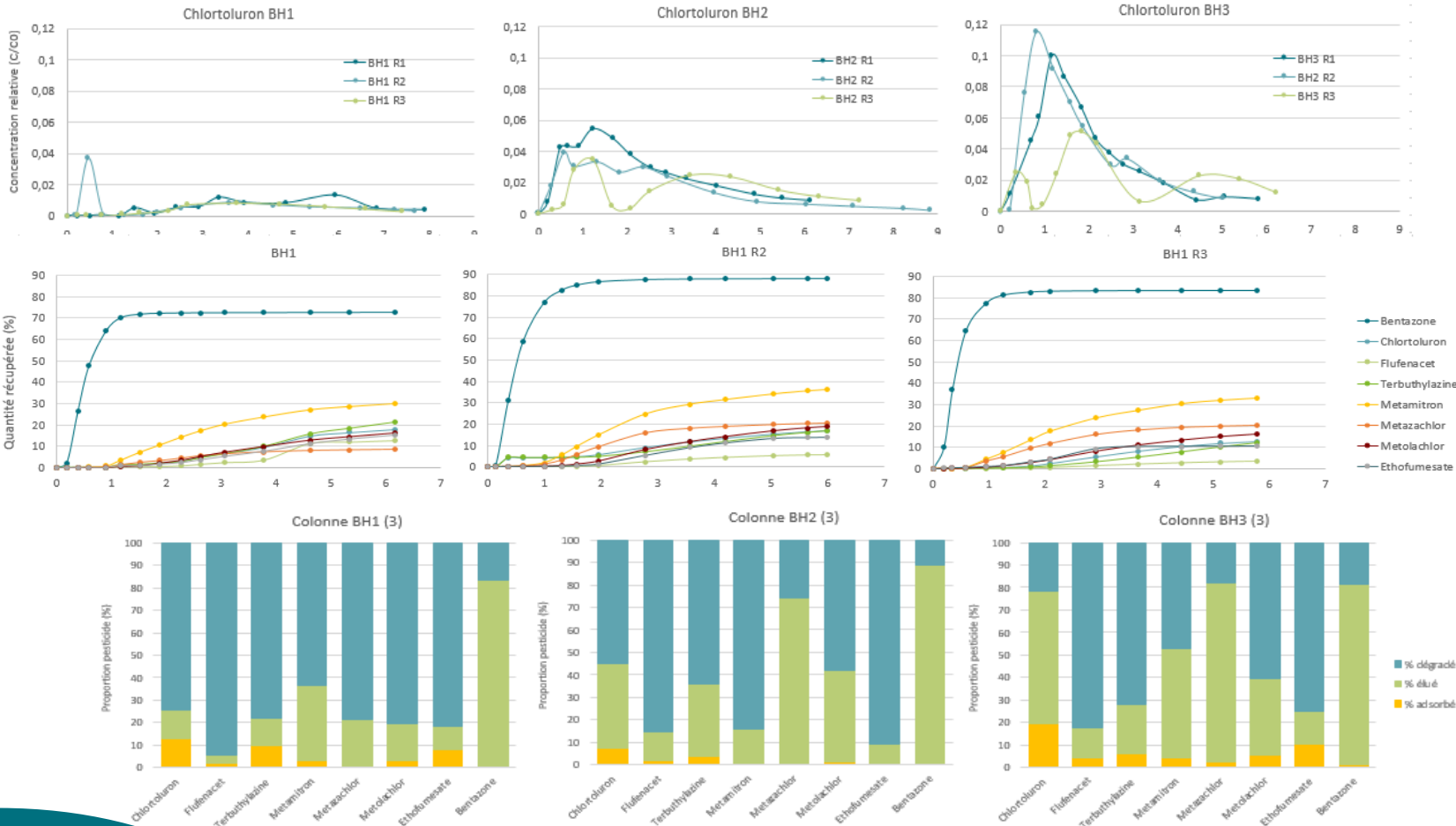
Démontage

Homogénéisation du sol
et analyse des pesticides



7. Expériences de lixiviation de pesticides

Résultats



Pour les 3 horizons et les 3 cultures :

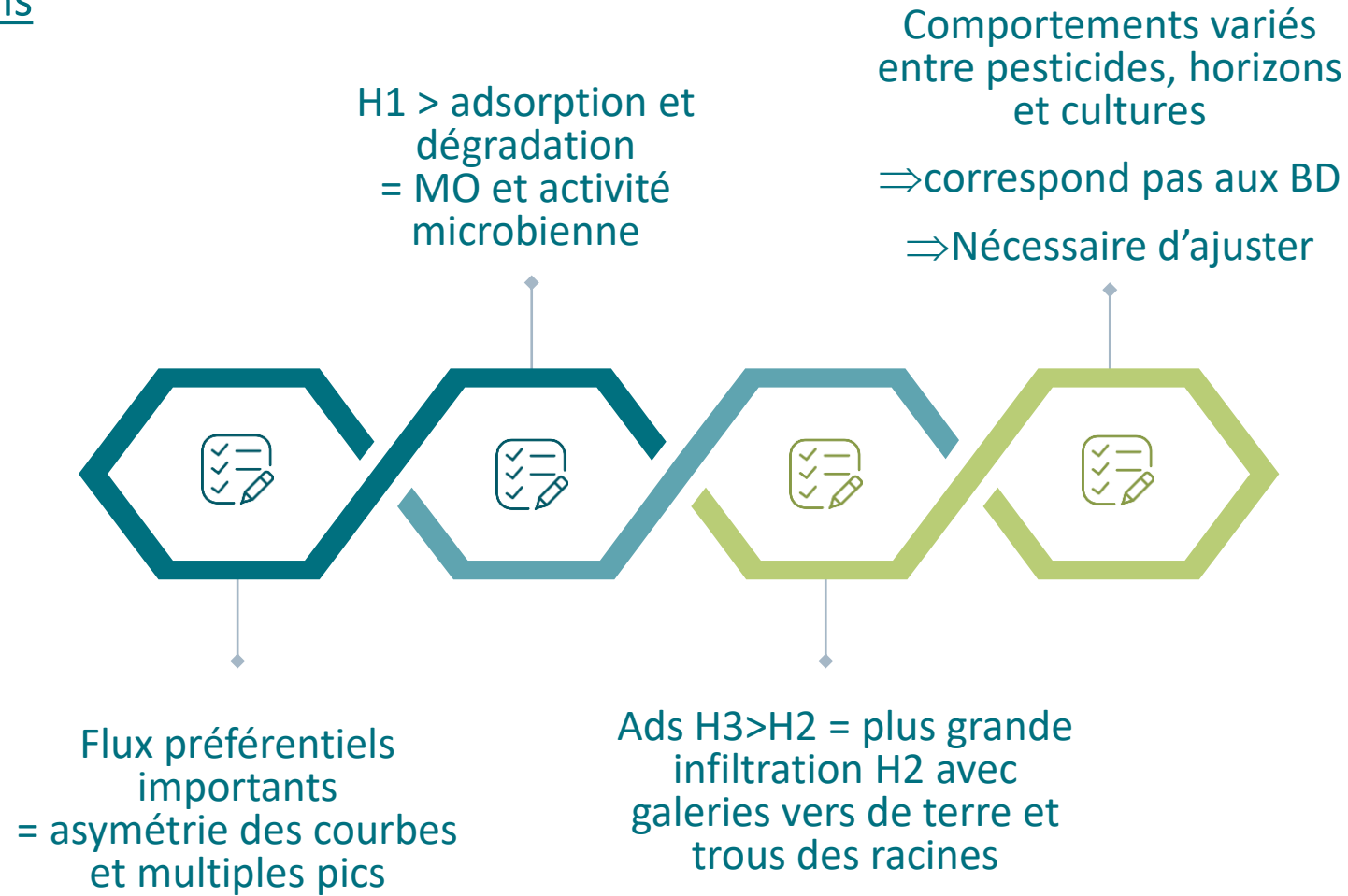
📈 Comparaison des courbes d'élution

📈 Comparaison des quantités récupérées

📈 Comparaison des bilans de pesticides élués/adsorbés/dégradés

7. Expériences de lixiviation de pesticides

Conclusions



8. Modélisation Hydrus 1-D

 Modèle unidimensionnel pour les flux d'eau et de solutés

 Différents modèles =

1. Equilibre = sol homogène et flux uniformes au sein de la colonne

⇒ Plus simple et rapide

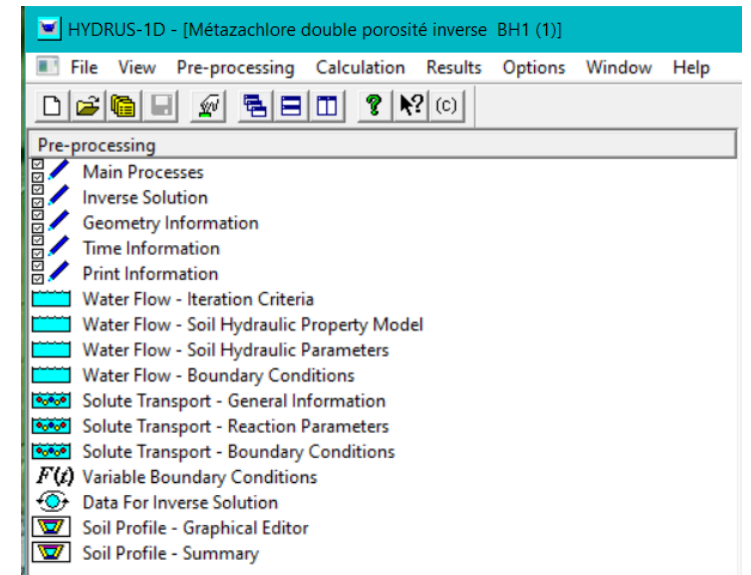
2. Double porosité = fracture/mobile et matrice/immobile

⇒ Plus proche de la réalité, prend en compte les flux préférentiels

 Modélisation séquentielle :

1. Paramètres hydrauliques = volumes élués

2. Paramètres pesticides = concentrations des éluats



8. Modélisation Hydrus 1-D

Modélisation de l'eau

- Ks = paramètre le plus sensible lors d'une modélisation inverse
- Modélisation inverse à l'équilibre du Ks

⇒ Ks BH1 > que les autres

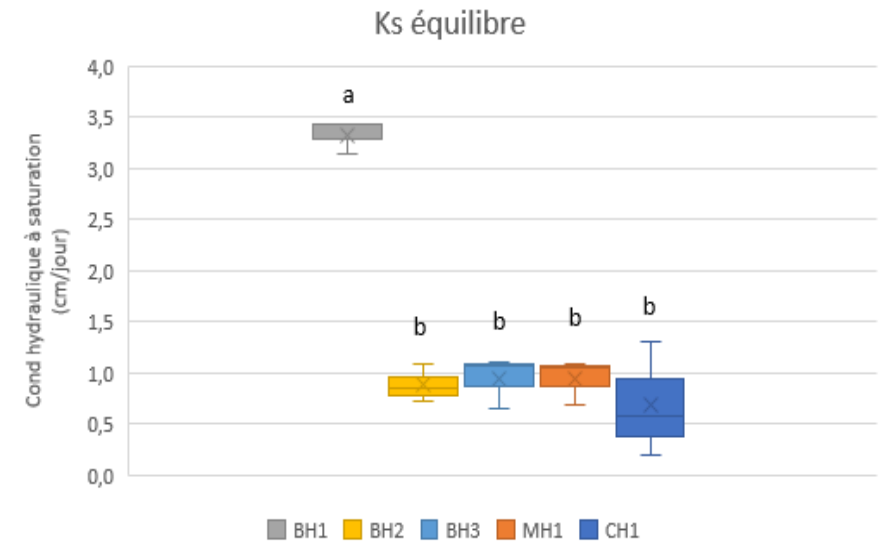
⇒ Ks maïs, caméline et H2/H3 pas différents

- Flux d'eau en double porosité : mobile/immobile
- % macropores : $\theta_{tot} = \theta_{s, mobile} + \theta_{s, immobile}$

⇒ % macropores H2 > H1 et H3 betteraves (galeries + racines)

⇒ Maïs > % macropores = racines importantes

⇒ Valeurs proches de la littérature



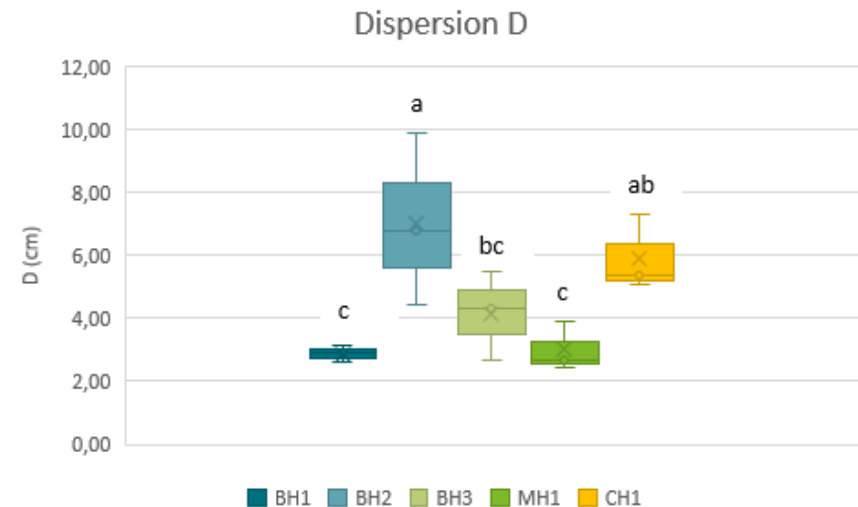
	$\theta_{s, mobile}$ (m ³ /m ³)	% macropores
BH1	0,036	7,78
BH2	0,039	9,46
BH3	0,028	7,39
CH1	0,035	8,81
MH1	0,038	10,02

8. Modélisation Hydrus 1-D

Modélisation inverse des pesticides

- Modélisation inverse des paramètres de transport
- D (cm) = 3 cm : ajustée avec un traceur : le bentazone
- K_d (ml/g) et DT_{50} (jours)
- Valeurs initiales = CRA-W
- $K_d \Rightarrow K_f$ = isotherme de Freundlich non linéaire
- Coefficient de transfert α en $\text{jours}^{-1} = 0,02 \text{ jours}^{-1}$

⇒ Comparaison des résultats H1 avec valeurs CRA-W, fabricants et base de données Pesticide Properties DataBase (PPDB)

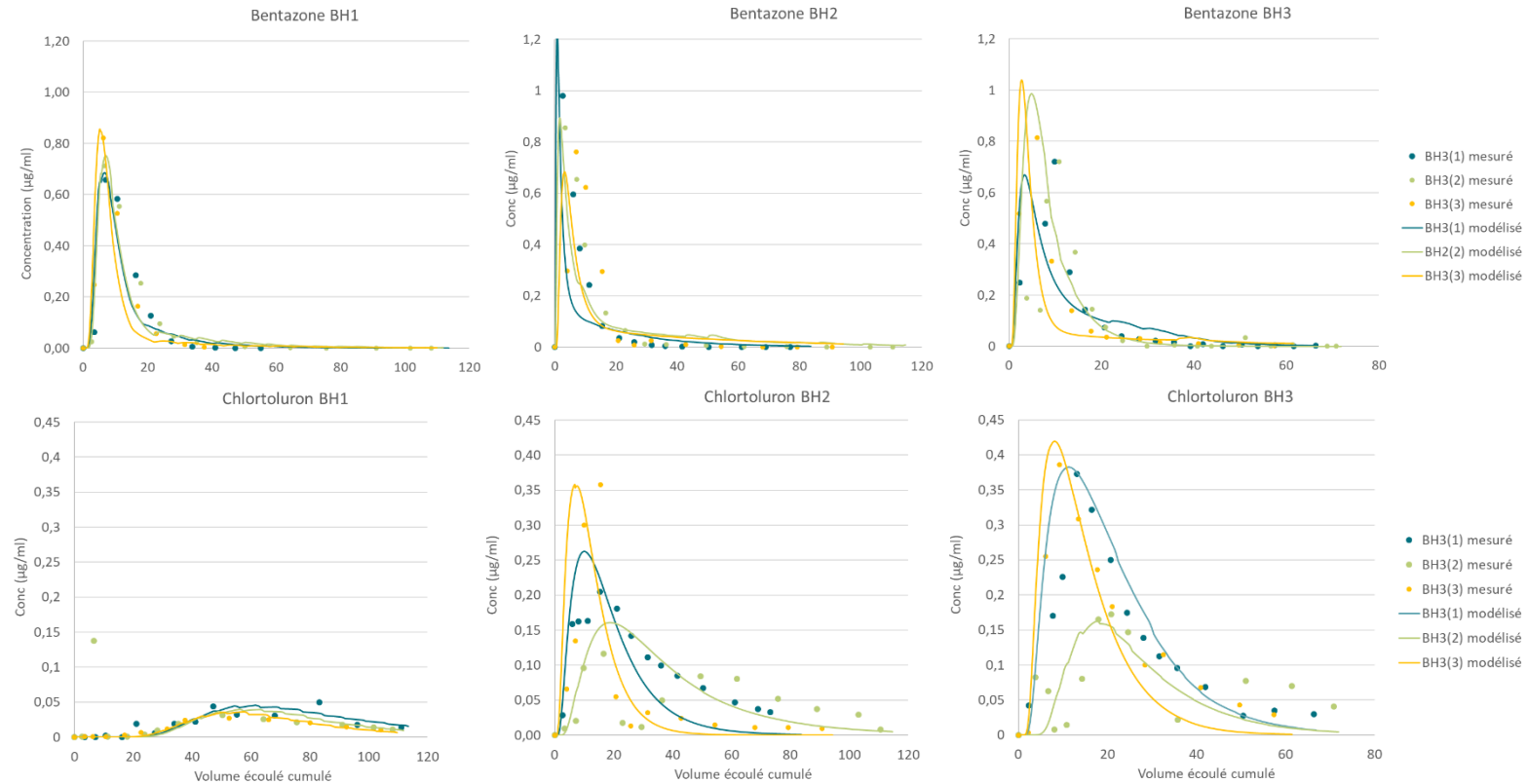


	D (cm)
BH1	2,87
BH2	7,02
BH3	4,16
MH1	3,00
CH1	5,92

8. Modélisation Hydrus 1-D

Exemples résultats

◆ Modélisation représente bien les courbes d'élution avec R^2 élevés

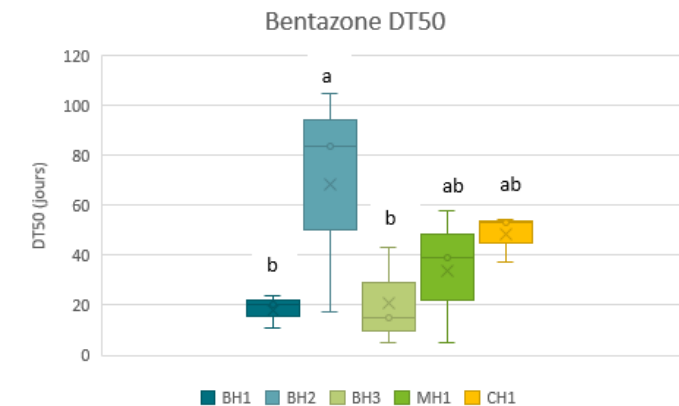
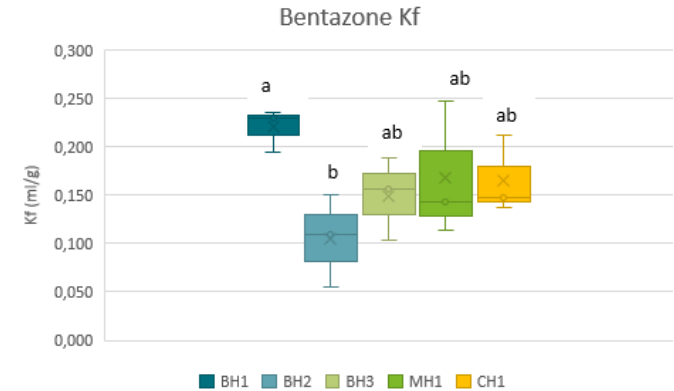


8. Modélisation Hydrus 1-D

Bentazone

- ◆ K_f entre 0,166 et 0,220 ml/g
- ◆ $3x < CRA-W \Rightarrow$ lixiviation et contamination des eaux sous estimées
- ◆ Dans les gammes fabricants et PPDB
- ◆ $K_f =$ cultures ($\neq K_{foc}$)
- ◆ $K_f H1 > H2$ (flux préférentiels)

- ◆ DT_{50} entre 18,2 et 48,2 jours
- ◆ $3x > CRA-W$ et $BD \Rightarrow$ lixiviation et contamination sous estimées
- ◆ $DT_{50} =$ cultures
- ◆ $DT_{50} H1/3 < H2 =$ adsorption élevée + activité microbienne



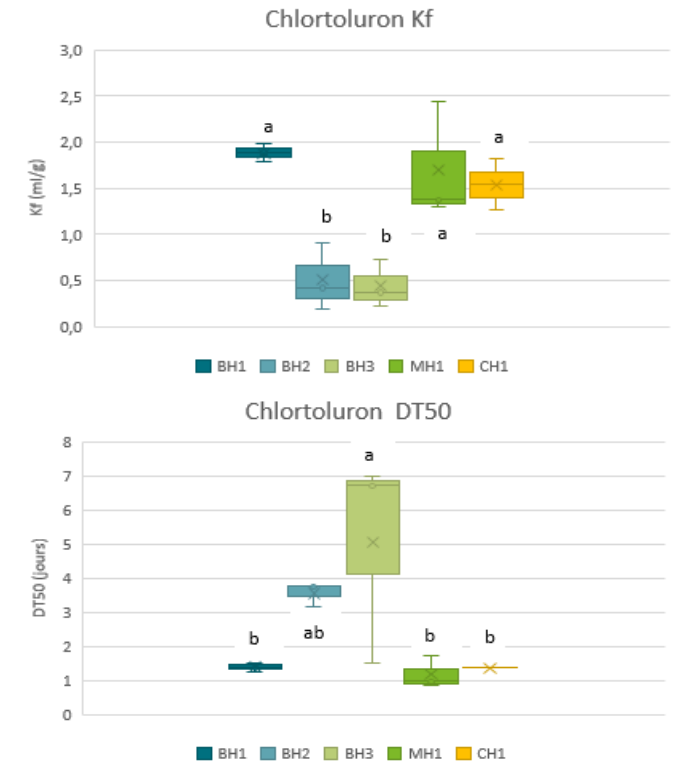
	K_f (ml/g)	DT_{50} (jours)	R^2
BH1	0,220	18,2	0,98
BH2	0,105	68,6	0,95
BH3	0,149	20,8	0,90
MH1	0,168	33,8	0,93
CH1	0,166	48,2	0,94
CRA-W	0,755	4,7	
Fabricants	0,075-1,94	3-6,9	
PPDB	0,02-3,06	3-31,3	

8. Modélisation Hydrus 1-D

Chlortoluron

- ◆ K_f entre 1,45 et 1,88 ml/g
 - ◆ $2x < CRA-W \Rightarrow$ lixiviation et contamination des eaux sous estimées
 - ◆ $<$ fabricants et ok PPDB très large
 - ◆ $K_f =$ cultures
 - ◆ $K_f H1 > H2/H3$ (flux préférentiels)

 - ◆ DT_{50} entre 1,2 et 1,4 jours
 - ◆ $30x < CRA-W$ et BD \Rightarrow lixiviation et contamination sur estimées
- \Rightarrow Production de métabolites sous-estimée
- ◆ $DT_{50} =$ cultures
 - ◆ $DT_{50} H1 < H3 =$ adsorption élevée + activité microbienne



	K_f (ml/g)	DT_{50} (jours)	R^2
BH1	1,88	1,4	0,87
BH2	0,51	3,6	0,76
BH3	0,44	5,1	0,85
MH1	1,71	1,2	0,72
CH1	1,45	1,4	0,87
CRA-W	4,52	42	
Fabricants	2,7-9,6	26-42	
PPDB	0,78-2,74	9,7-17,2	

8. Modélisation Hydrus 1-D

Comparaison K_f et DT_{50}

- ◆ Comparaison entre les pesticides et les métabolites
- ◆ Principaux métabolites problématiques pour les eaux en Europe
- ◆ K_f pesticides > 0,94 ml/g
- ◆ K_f métabolites toujours plus faibles (excepté métamitron)
- ◆ Grand potentiel de lixivibilité
- ◆ DT_{50} pesticides < 2 jours
- ◆ DT_{50} métabolites jusque 400 jours

⇒ Importance de ne pas sous estimer la dégradation des pesticides

Pesticides	K_f	DT_{50}
Terbutylazine	2,25	1,57
Métamitron	1,15	2,05
Métolachlore	1,71	1,42
Métazachlore	0,94	1,32
Flufenacet	1,66	0,78

Métabolites	K_f	DT_{50}	mobilité
Desethyl-terbutylazine	1,4	54	Modérément mobile
Desamino-metamitron	1,68	31,1	Modérément mobile
Metolachlore ESA	0,22	400	Très mobile
Metolachlore OA	0,28	325	Très mobile
Metazachlore ESA	0,26	115	Très mobile
Metazachlore OA	0,38	96	Très mobile
Flufenacet SA	0,12	302	Très mobile
Flufenacet O	0,12	11	Très mobile

8. Modélisation Hydrus 1-D

Synthèse des résultats

$K_f < \text{CRA-W}$ mais dans les gammes de valeurs
≠ bentazone, métolachlore et flufenacet
Sous-estimation de la contamination eaux

Pas de différences entre les cultures

$K_f \text{ H1} > \text{H2/3}$: structure du sol et flux
préférentiels

$\text{DT}_{50} \text{ H1} < \text{H2/3}$: activité microbienne et
temps de résidence



$\text{DT}_{50} < \text{CRA-W}$ et BD sauf bentazone
≠ chlortoluron, flufenacet et ethofumesate
Contaminations par les métabolites sous-estimées

Importance d'adapter les valeurs utilisées
dans les prises de décisions/modélisations

Importance de considérer les horizons
inférieurs également

Importance à accorder aux métabolites



Merci de votre attention !

Clemence.pirlot@uliege.be