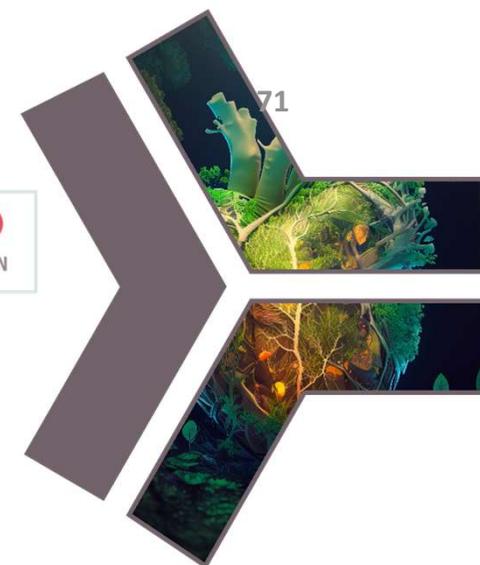




Carrefours de l'innovation INRAE  
Agriculture / Alimentation / Environnement

ÉCOPHYTO  
RECHERCHE & INNOVATION



# TEPoT

Evaluation des effets Toxicologiques et Ecotoxicologiques des produits  
phytopharmaceutiques utilisés sur la culture de la POmme de Terre

Sébastien LEMIERE, LGCgE ULR 4515, Université de Lille



# 01. Contexte, objectifs et caractère novateur du projet par rapport aux enjeux Ecophyto

Souvent une évaluation substance après substance

$$\frac{PEC}{PNEC} < 1$$

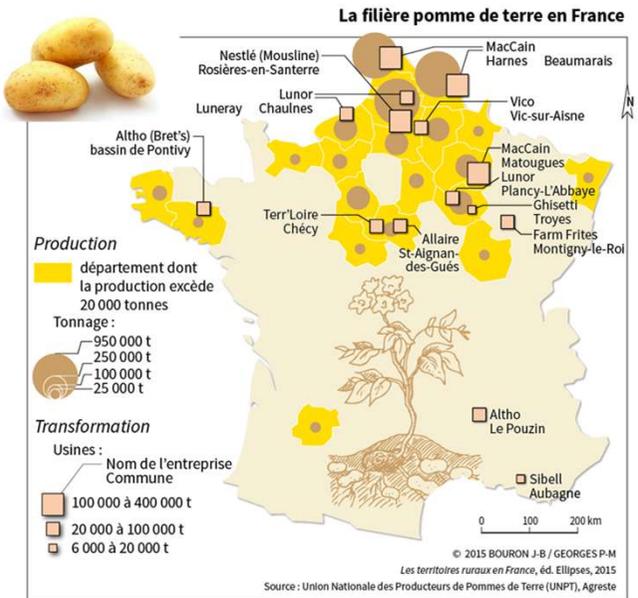
= un modèle idéal pour une évaluation réaliste des effets d'une potentielle contamination multirésiduelle par les PhytoPharmaceutiques (PP) des sols et des récoltes (faibles doses, effets cocktail ?) suite à leur utilisation et sur l'ensemble de la saison culturale

(1) Leader mondial des exportations  
 (2) Second en termes de production Europe de l'Ouest  
 (3) Top 3 production UE

± 50 % des PdT françaises sont exportées

- Culture importante en France (154 000 ha; 8 500 exploitations) et dans les Hauts-de-France (97 000 ha; 2/3 de la production) en termes de surfaces utilisées.
- Les zones cultivées sont en progression depuis le début des années 2000
- IFT moyen élevé en conventionnel 16.6

PdT 12,5 Fongicides + 4 Herbicides  
 Colza ≈ 6 (insecticides + herbicides)  
 Blé tendre ≈ 5 (herbicides + fongicides)  
 (MASA, 2017)



## 02. Consortiums et partenaires du projet



Université de Lille



Junia



CRA Hauts-de-France

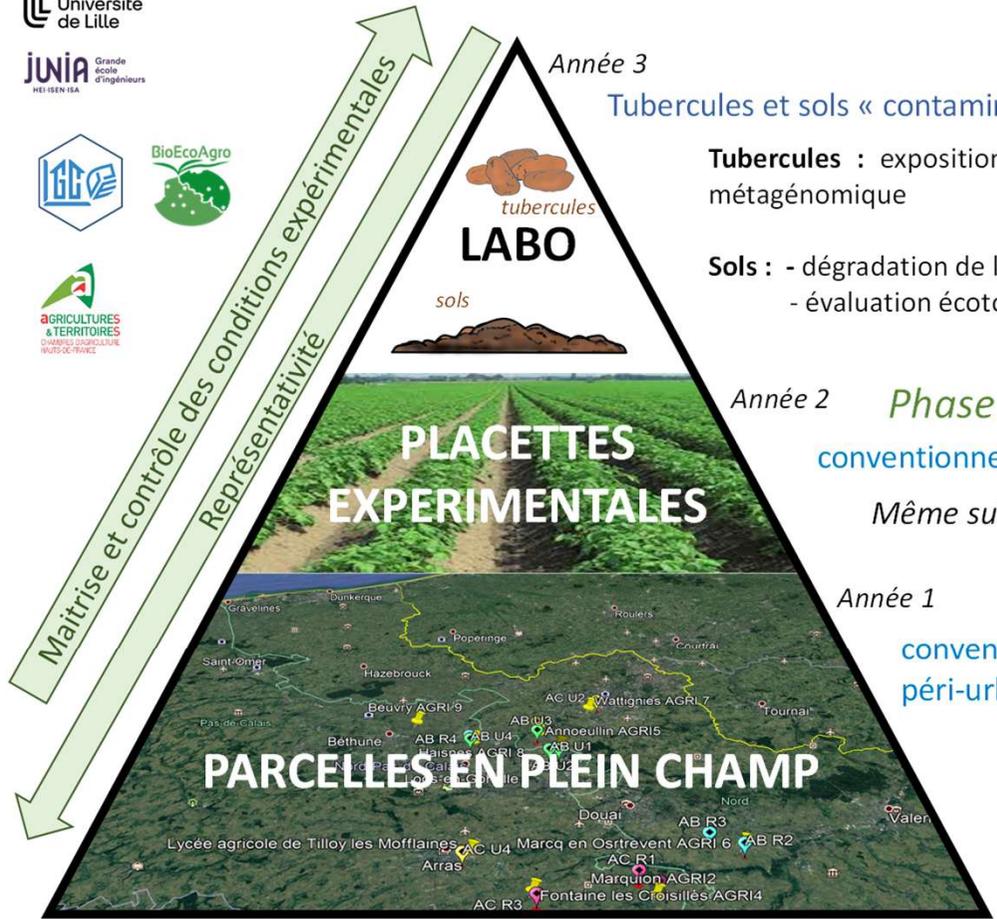


Laboratoire Génie Civil et  
géo-Environnement, ULR  
4515



UMRt BioEcoAgro, Institut  
Charles Viollette, INRAE  
1158, SFR Condorcet FR  
CNRS 3417

# 03. Hypothèse(s) et méthodologie(s) mises en place



## Phase 3 - Expérimentations au laboratoire

Tubercules et sols « contaminés » à l'issue de la culture en dispositif expérimental

**Tubercules** : exposition de souris par ingestion puis approches nutriginomique et métagénomique

**Sols** : - dégradation de la matière organique (cinétique)  
- évaluation écotoxicologique (vers de terre et plantes exposés en microcosmes)

## Phase 2 - Culture de pomme de terre en dispositif conventionnelle x biologique expérimental

Même suivi qu'en plein champ mais en contrôlant les conditions expérimentales

## Phase 1 - 16 parcelles : 2 facteurs étudiés conventionnelle x biologique péri-urbain x rural

4 parcelles par modalité croisée

- Analyse des usages et des pratiques culturales
- Caractérisation des sols et teneurs en PP
- Etat sanitaire des cultures et des récoltes
- Tubercules : teneurs en PP
- Flore adventice et biodiversité des parcelles
- Transplants lichéniques : teneurs en PP

PP = Produits phytopharmaceutiques

# 03. Hypothèse(s) et méthodologie(s) mises en place



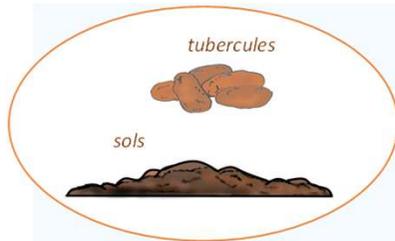
## PHASE 1 – Année 1 - 16 parcelle en plein champ Un état des lieux



- Analyse des usages et des pratiques culturelles
- Caractérisation des sols et teneurs en PP
- Etat sanitaire des cultures et des récoltes
- Tubercules : teneurs en PP
- Flore adventice et biodiversité des parcelles
- Transplants lichéniques : teneurs en PP

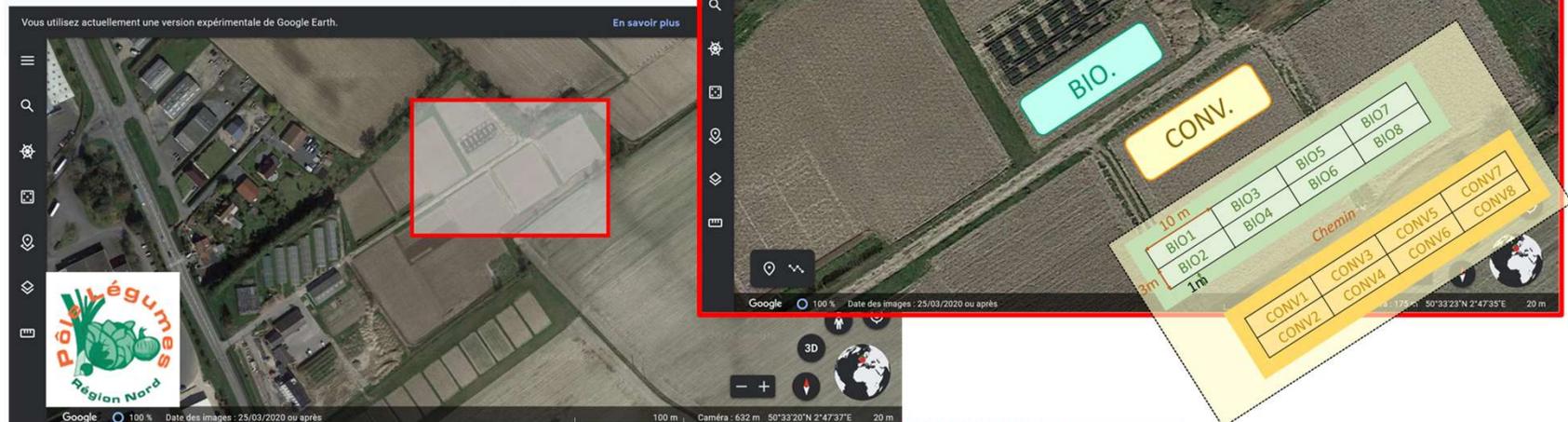
	Pomme de Terre	
agricultures ⇒	AC	AB
contexte ↓		
Péri-urbain		
Rural (grande culture)		

# 03. Hypothèse(s) et méthodologie(s) mises en place

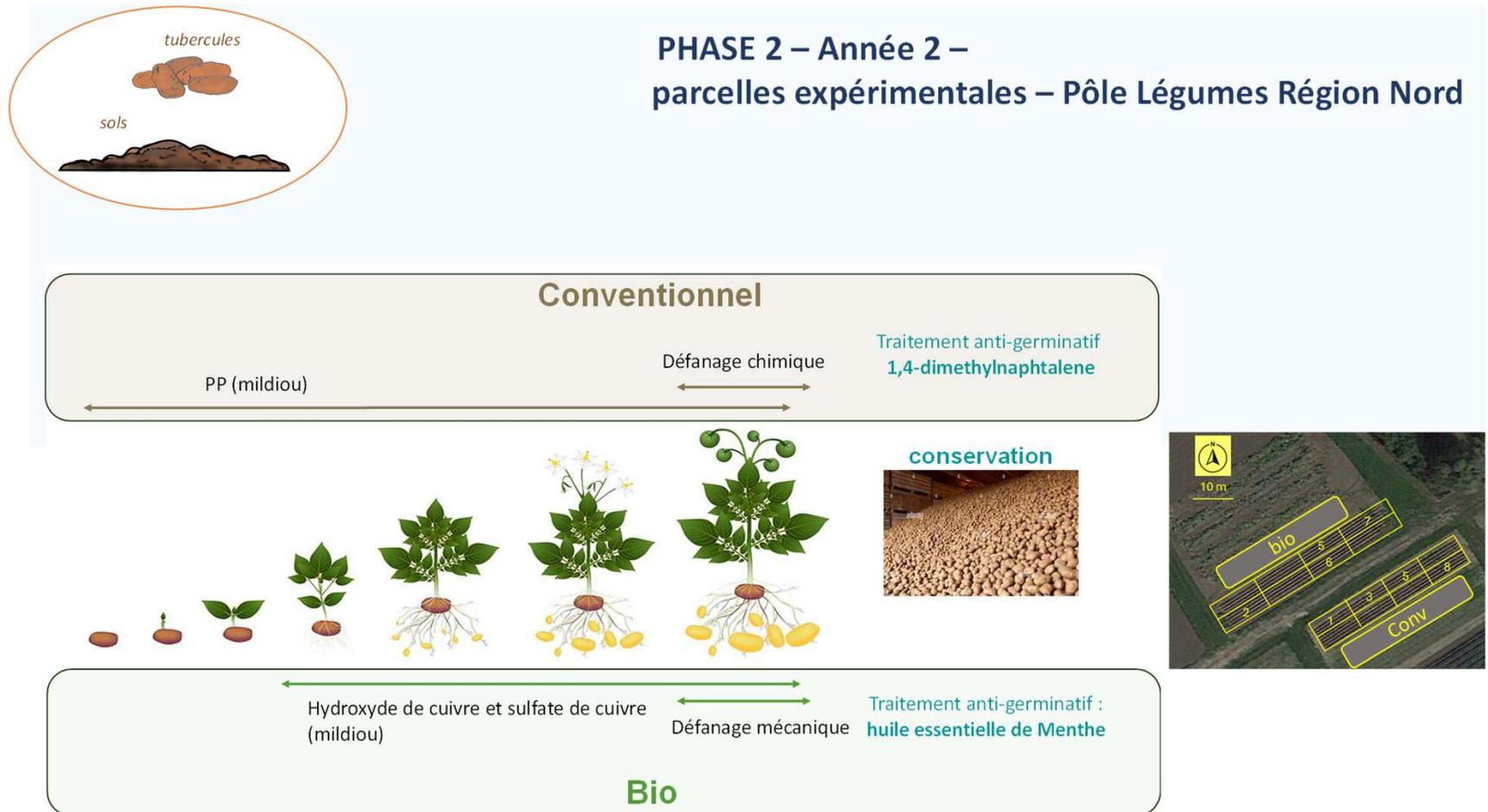


## PHASE 2 – Année 2 – parcelles expérimentales – Pôle Légumes Région Nord

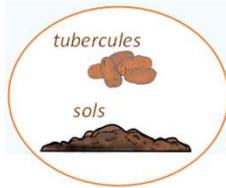
- ✓ Méthodologie affinée par rapport aux résultats de la phase 1
- ✓ 2 ITK – cultures maîtrisées
- ✓ Même suivi qu'en phase 1 + rhizobiomes
- ✓ Export des sols et des tubercules (phase 3)



# 03. Hypothèse(s) et méthodologie(s) mises en place



# 03. Hypothèse(s) et méthodologie(s) mises en place

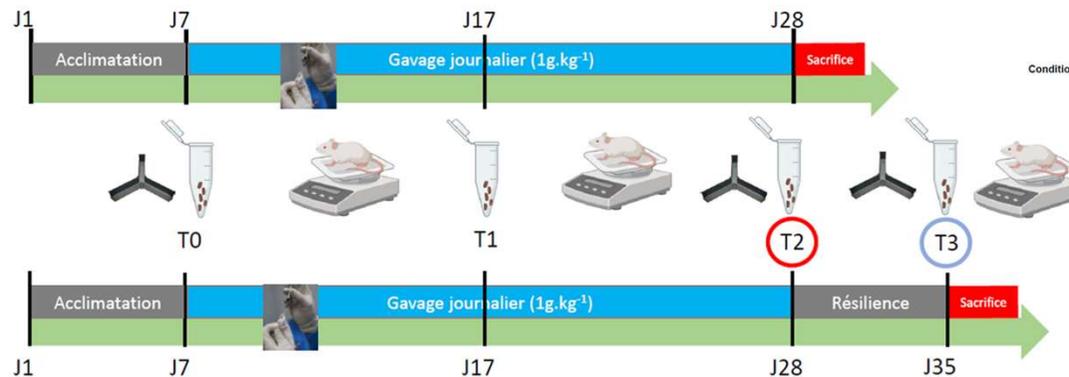


PHASE 3 – année 3

Experimentations avec les matrices exportées des parcelles expérimentales

- > 6 groupes de 12 souris
- > Alimentation standard *ad libitum*
- > Cycle lumière/nuit : 12h/12h (Nuit : 9 am)

Groupes	Traitement	
PB	PdT Bio	Bio
PBS	PdT Bio avec stockage	Bio-S
PC	PdT conventionnel	Conv
PCS	PdT conventionnel avec stockage	Conv-S
Ctrl Eau	Eau	Ctrl
Ctrl ADI	Mix pesticides ADI	ADI



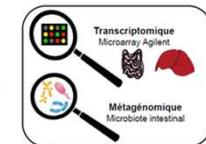
Tubercules de pomme de terre

Gavage journalier  
3 semaines  
Farine

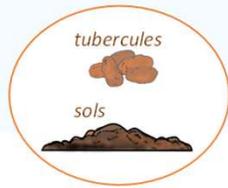


Conditions à tester :

- i) conventionnelle vs bio
- ii) sans stockage vs avec stockage



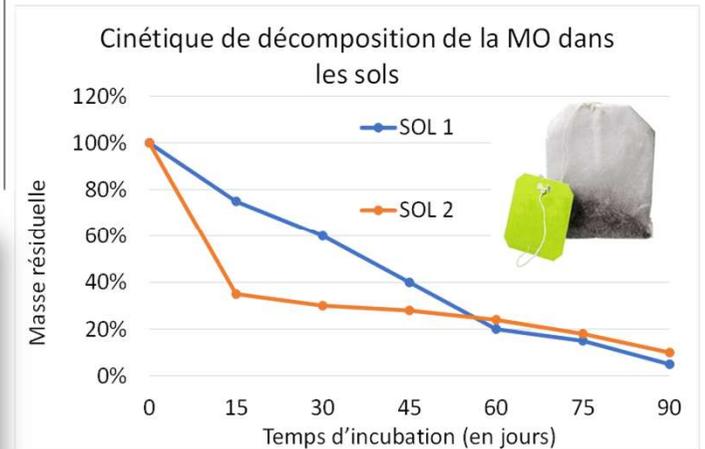
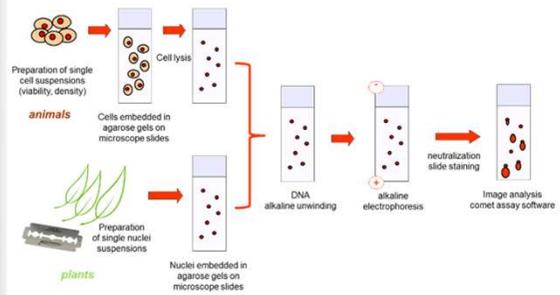
# 03. Hypothèse(s) et méthodologie(s) mises en place



PHASE 3 – année 3

Experimentations avec les matrices exportées des parcelles expérimentales

	Ver <i>Eisenia fetida</i>	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Trèfle <i>Trifolium repens</i>	Ver + Chou	Ver + trèfle
Expositions en microcosmes					



## 04. Principaux résultats finaux

- ✓ Contaminations des sols et parcelles / 16 individualités
  - Molécules anciennes, cultures antérieures
  - Saison culturale
  - Parcelles et cultures avoisinantes
  
- ✓ Faibles concentrations mais multiplicité des résidus de PP
  
- ✓ Peu d'influence des contextes Rural OU péri-urbain

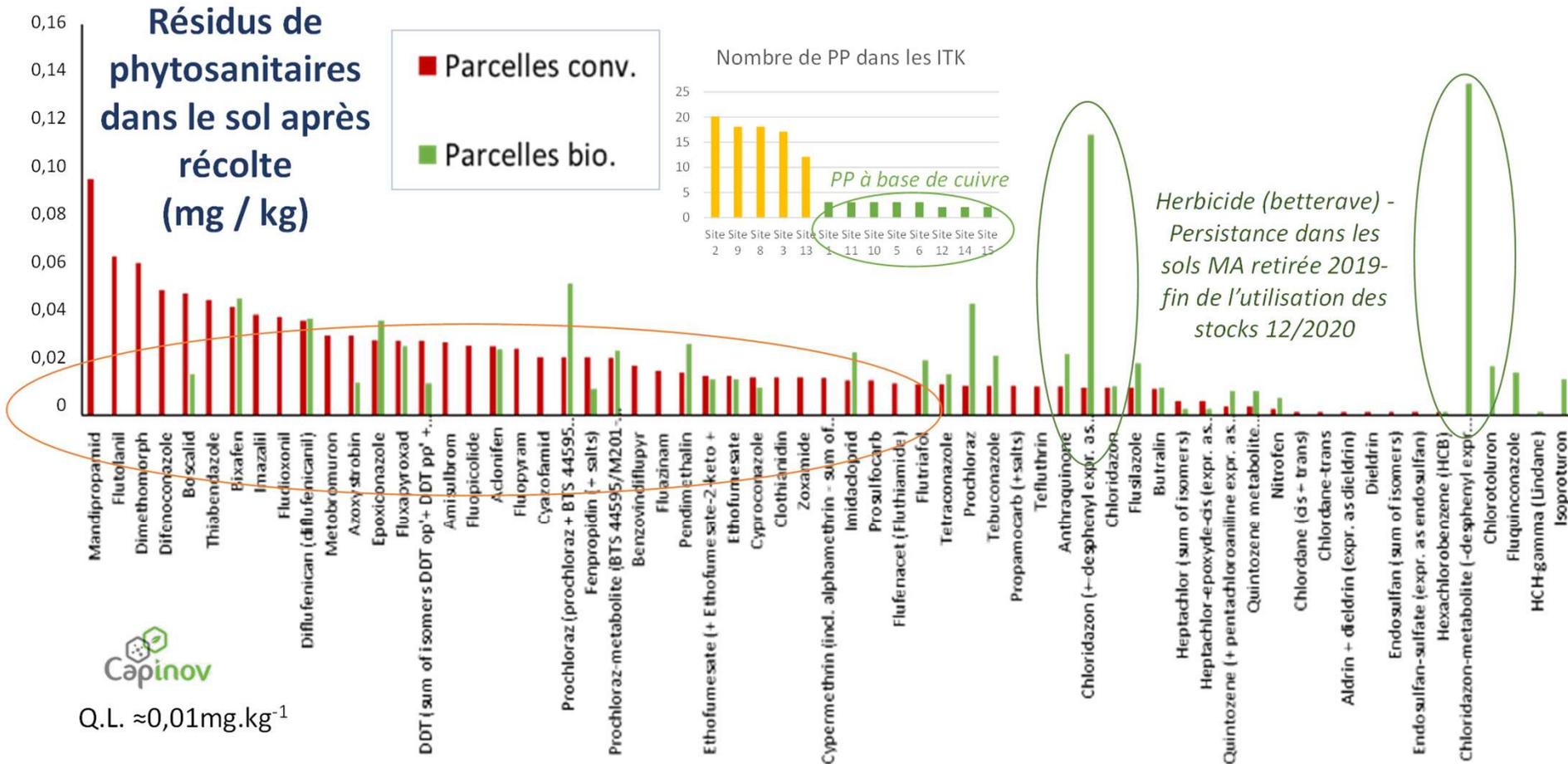
PP dans le sol à la récolte (mg / kg)

	Difenoconazole	Dimethomorphe	Metobromuron	Aclonifen	Fluopicolide	Fluazinam
ANNO2	26	19	48	54	43	6
BEUV1	56	59	90	15	144	0
BEUV2	82	27	134	23	40	1
FONT1	6	6		43	113	1
MARQ1	3	106	3	64	47	2
MARQ2	9	114	9	42	69	2
TIII1	0	0	1	26	73	2
WAT1	4	27	18	91	4	3

PP présent dans ITK et mesuré dans l'analyse

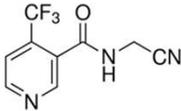
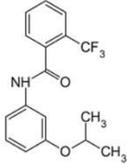
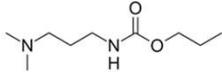


# 04. Principaux résultats finaux



# 04. Principaux résultats finaux

✓ Peu de transfert vers les tubercules

Flonicamid	Flutolanil	Propamocarb
Insecticide (aphidés)	fongicide ( <i>Rhizoctonia solani</i> )	fongicide (oomycètes)
		
FLOIDANI50 AFIKILL TEPPEKI	IOTA P IOTA L	INFINITO PROXANIL CYMOPRO
1 parcelle (conv)	1 parcelle (conv)	3 parcelles (conv)

Phytoprotectants dans les pommes de terre



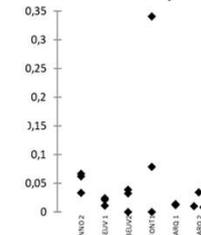
Detecté non quantifié

$\leq 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$

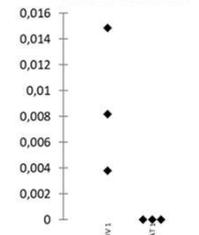
RATIO [Pdt] / [Sol]



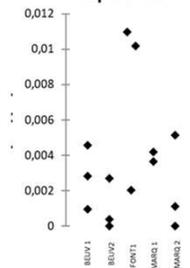
Diméthomorphe



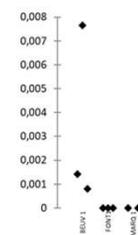
Difénoconazole



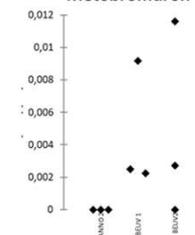
Fluopicolide



Aclonifen

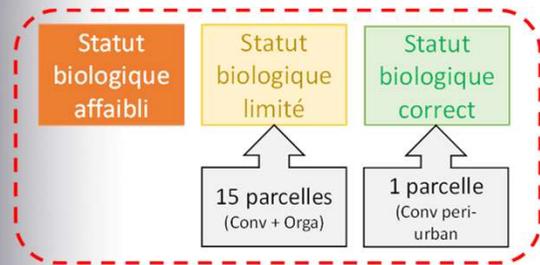


Metobromuron



# 04. Principaux résultats finaux

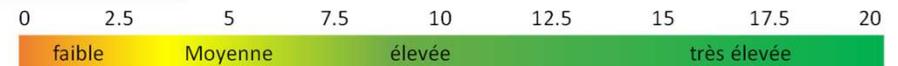
✓ Un statut biologique limité de ces parcelles



## Biodiversité - Nématodes



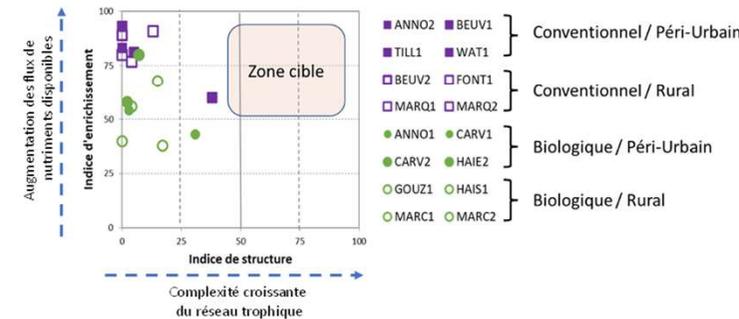
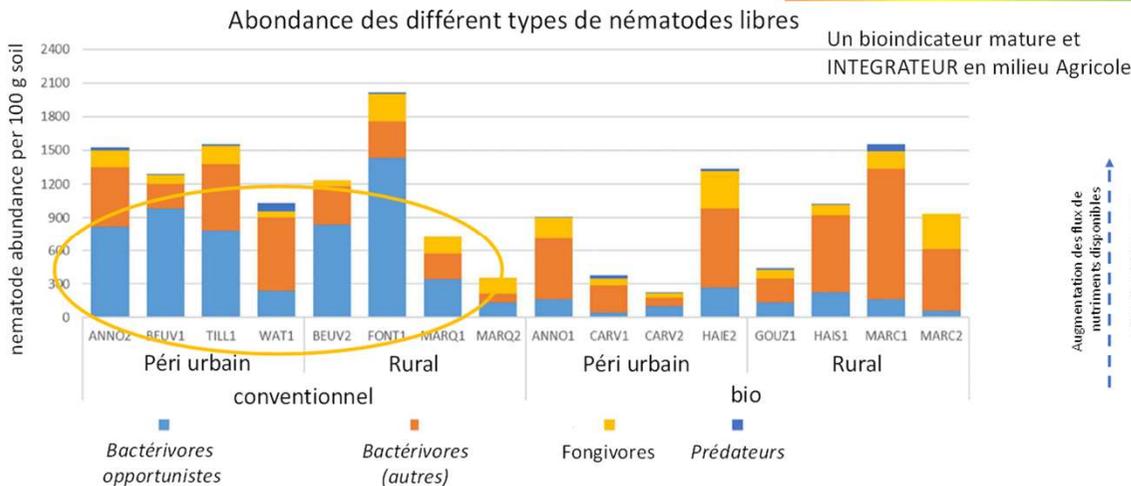
Stratégies de fertilisation des sols ?



Nématodes libres (nombre par gramme de sol)

### PERTURBATIONS

- ✓ physiques (labour, sol compacté...)
- ✓ Chimique (biocides, pollution...)
- ✓ Ou climatique (engorgement, sécheresse...)

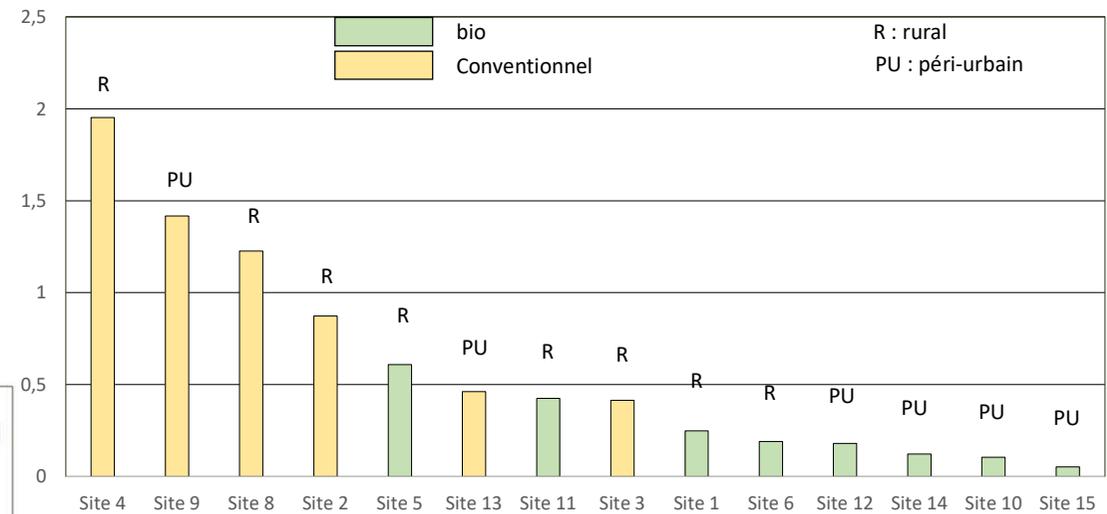


# 04. Principaux résultats finaux

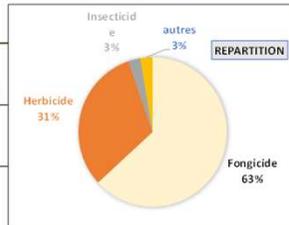
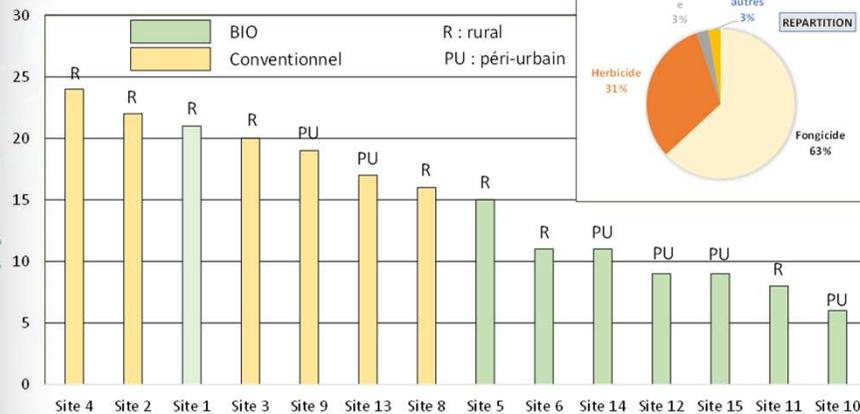
## ✓ Une bio-surveillance intégrée possible



Concentrations totales en résidus de PP ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) – (corrigé pour les anthraquinones et Thiophanate-méthyl)



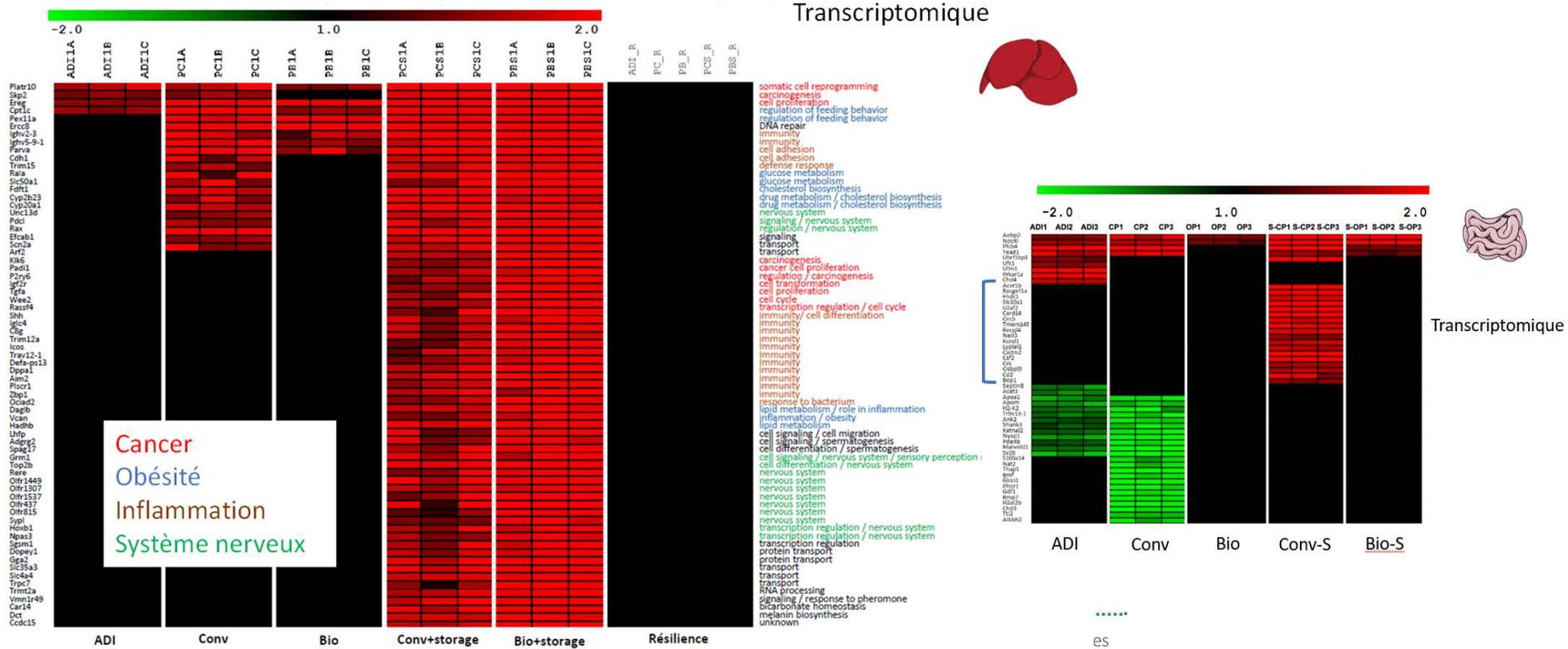
Nombre de résidus de PP détectés



- ✓ Espèce : *Xanthoria parietina*.
- ✓ Exposé de mai à octobre 2021
- ✓ Collectés initialement dans une zone péri-urbaine sans parcelle agricole
- ✓ Technique Moss bag (20g)
- ✓ Supports naturels (arbres) ou artificiels
- ✓ 2 disparitions de transplants

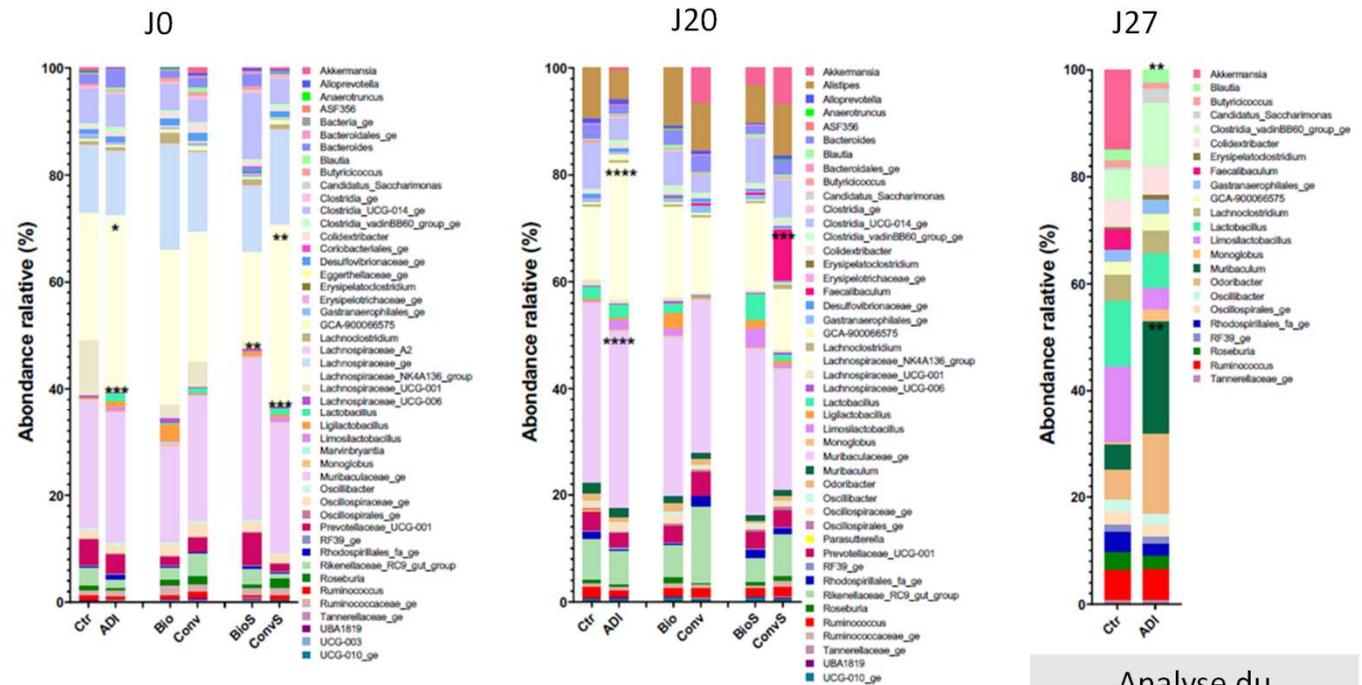
# 04. Principaux résultats finaux

✓ Des effets biologiques transitoires suite aux expositions aux tubercules récoltés, par gavage alimentaire chez la souris



# 04. Principaux résultats finaux

✓ Des effets biologiques transitoires suite aux expositions aux tubercules récoltés, par gavage alimentaire chez la souris



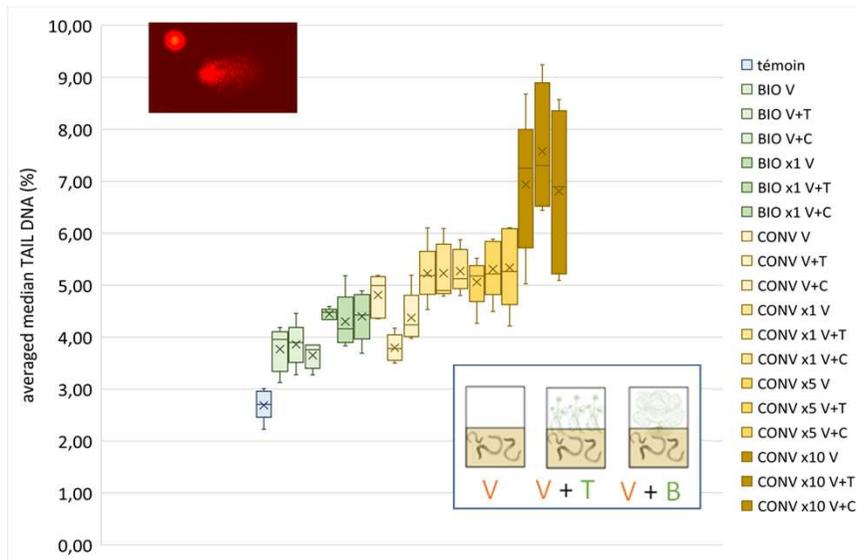
Analyse du microbiote (genre)

..... ↗ *Muribaculaceae* condition ADI et *Faecalibaculum* modalité ConvS après 20 jours  
 C: ↗ *Blautia* et *Roseburia* modalité ADI après la résilience

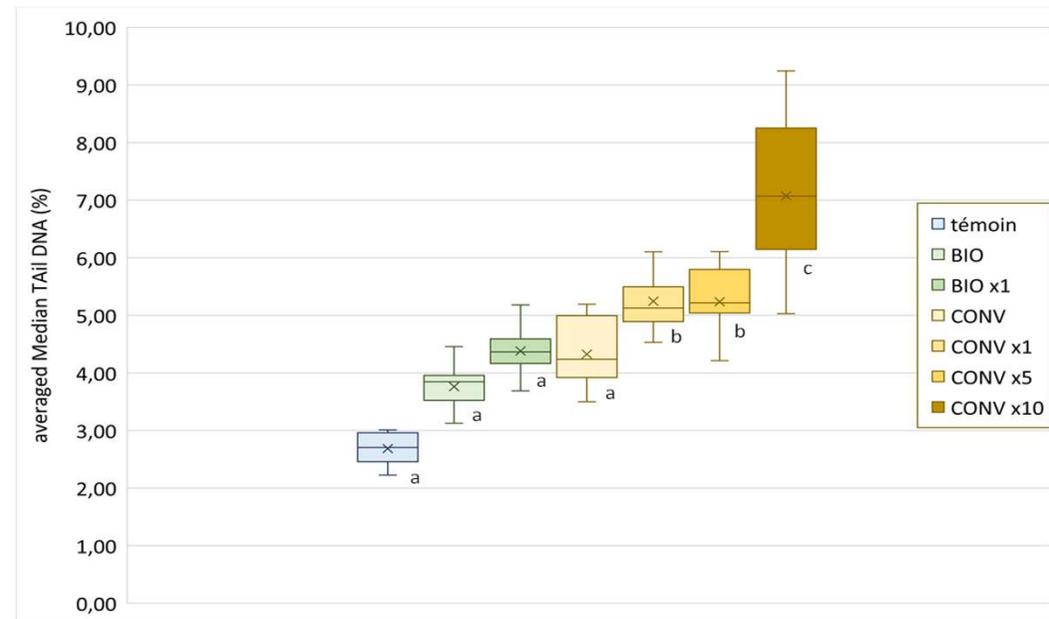
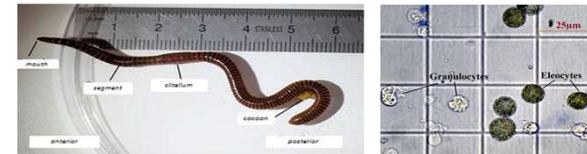


# 04. Principaux résultats finaux

✓ Des réponses différentes suite aux expositions aux sols en microcosmes



10 jours d'exposition + contamination additionnelle



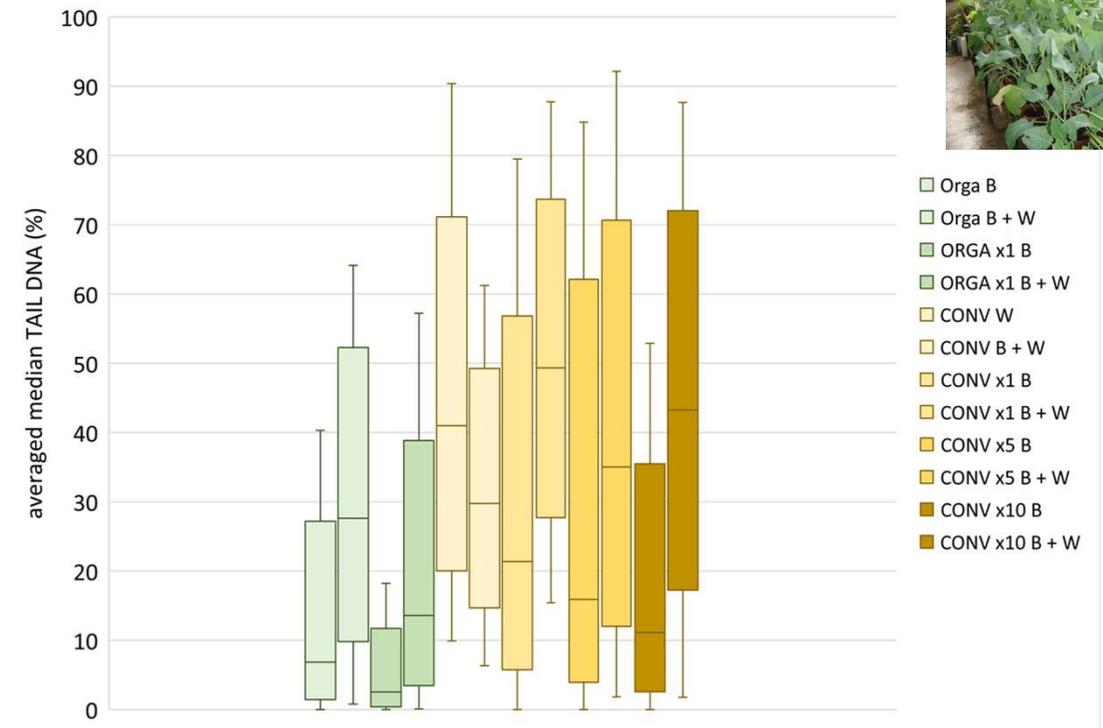
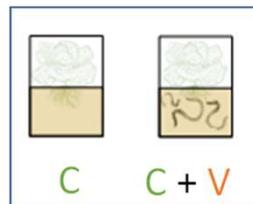
	Ver <i>Eisenia fetida</i>	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Trèfle <i>Trifolium repens</i>	Ver + Chou	Ver + Trèfle
Dispositif d'exposition					

# 04. Principaux résultats finaux

✓ Des réponses différentes suite aux expositions aux sols en microcosmes

	Ver <i>Eisenia fetida</i>	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Trèfle <i>Trifolium repens</i>	Ver + Chou	Ver + Trèfle
Dispositif d'exposition					

10 jours d'exposition  
+ contamination additionnelle



## 04. Principaux résultats finaux

- ✓ Contaminations des sols et parcelles / 16 individualités
  - Molécules anciennes, cultures antérieures
  - Saison culturale
  - Parcelles et cultures avoisinantes
- ✓ Faibles concentrations mais multiplicité des résidus de PP
- ✓ Sols avec un statut biologique limité (même en bio) comme dans d'autres contextes agricoles
- ✓ Diversité du Microbiome = différence entre les pratiques conventionnelle et bio
- ✓ Biosurveillance par les lichens : une approche intéressante en milieu agricole
- ✓ Tox : réponses biologiques suite aux contaminations des récoltes et effets significatifs des traitements anti-germinatifs
- ✓ EcoTox : quelques réponses biologiques significatives (Conv vs Bio) / Complémentarité des approches et des modèles biologiques / Intérêt des expositions en microcosmes

## 04. Principaux résultats finaux

**Complémentarités** des différentes approches pour une meilleure surveillance et une évaluation pertinente des effets des PP

**Approche Intégrée** mais évaluation du **DANGER** plus que du **RISQUE** résultant des contaminations des récoltes et des sols après une saison culturale

**Applicable à d'autres filières agricoles ?**

En faveur de pratiques agricoles **minimisant l'utilisation de substances PP**, à haute solubilité notamment et des **modes de gestion biologique**.

En faveur de la **mise en place d'une surveillance** des sols et des récoltes, intégrée, physico-chimique et biologique, pour une meilleure gestion, utilisation et évaluation des PP.



## 05. Transfert & valorisation de ces résultats

- ✓ Un premier retour auprès des agriculteurs impliqués dans la phase 1
- ✓ Puis une restitution plus complète des résultats obtenus, ainsi qu'aux membres de la Chambre régionale d'agriculture et du pôle Légumes en décembre 2024.
- ✓ Rédaction en cours de publications de vulgarisation et scientifiques,
- ✓ Communication actuelle des résultats principalement par le biais de communications orales et affichées dans différents colloques et congrès scientifiques nationaux et internationaux. (≈ 9)
- ✓ Présentation dans différents enseignements (Ulille et Junia)

## 07. Perspectives issues du projets

- ✓ se focaliser et développer certains indicateurs pertinents du projet (biosurveillance environnementale par les transplants lichéniques notamment) ;
- ✓ pérenniser sous forme de « zone atelier » les travaux réalisés en phase 1 sur les parcelles de culture de pommes de terre en Hauts-de-France, en y intégrant la dimension santé des utilisateurs et riverains ;
- ✓ reproduire cette démarche intégrée dans le contexte d'une autre filière agricole régionale ou nationale ;
- ✓ appliquer cette démarche pluridisciplinaire s'inspirant du « One Health » dans un contexte agricole ou autre, et pour d'autres contaminants que les PP (PFAS,  $\mu$ plastiques).



# Remerciements



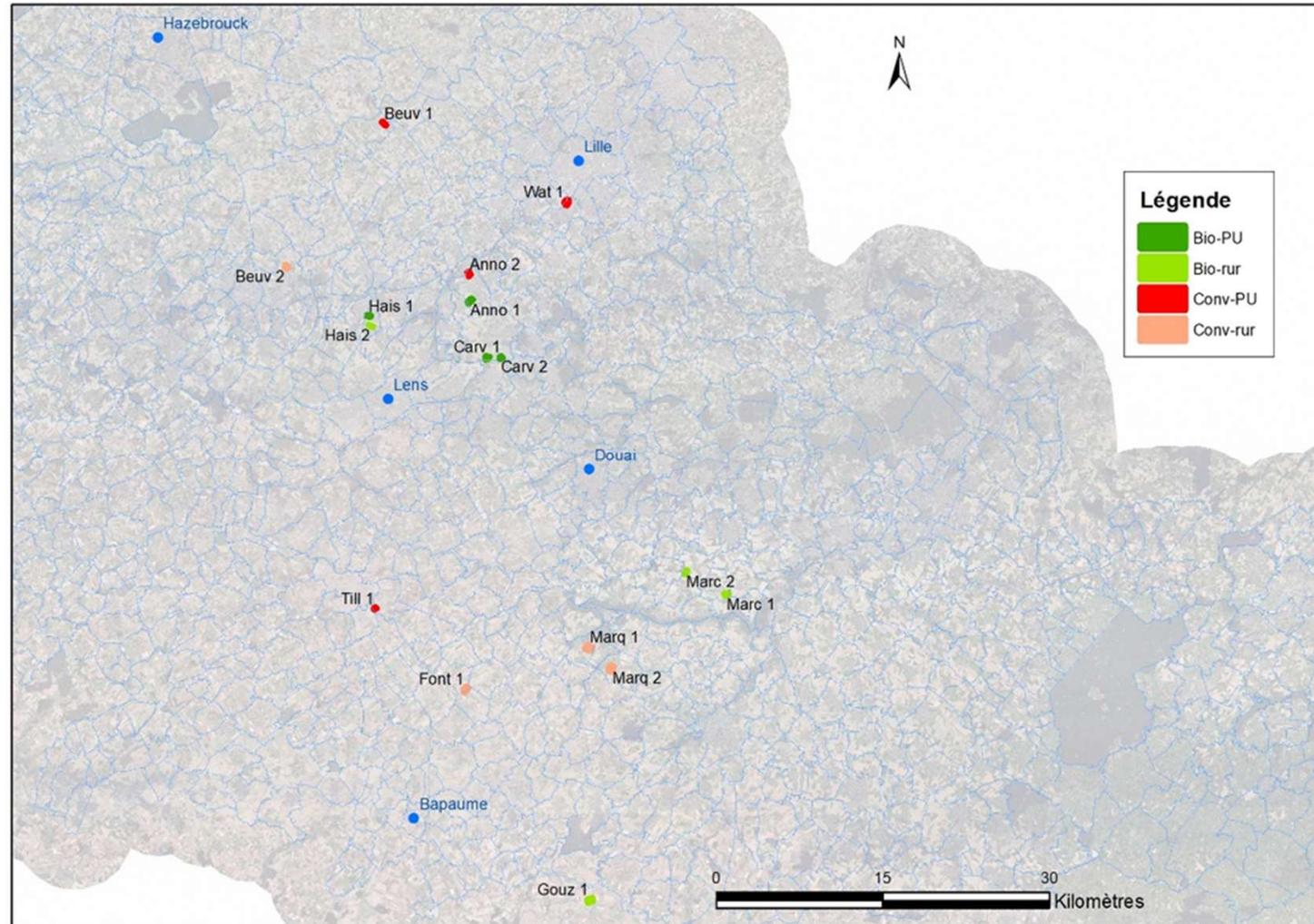
Merci pour votre attention

Remerciements à l'ensemble de mes collaborateurs  
des différentes équipes impliquées dans TEPoT

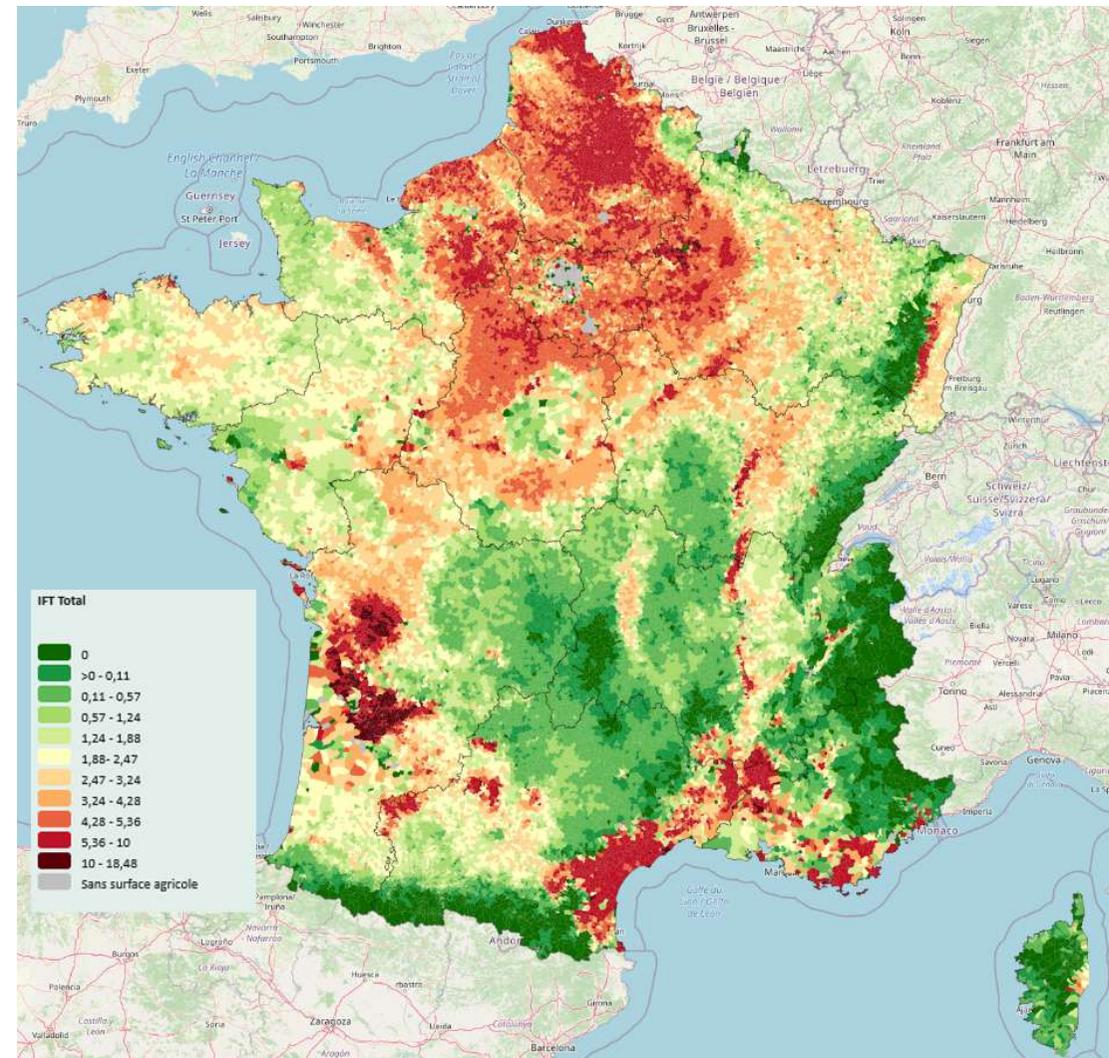
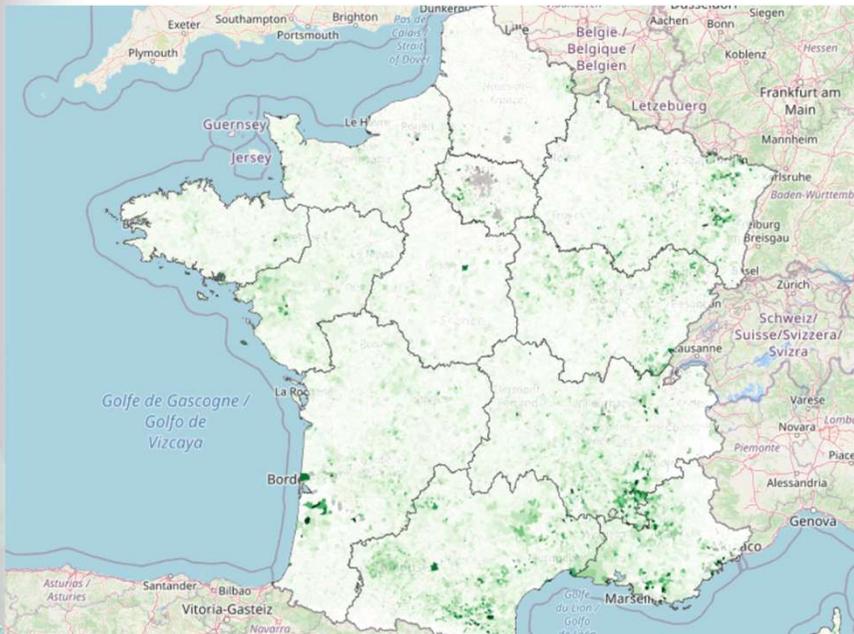
Merci au CSO RI et à l'équipe d'animation Ecophyto



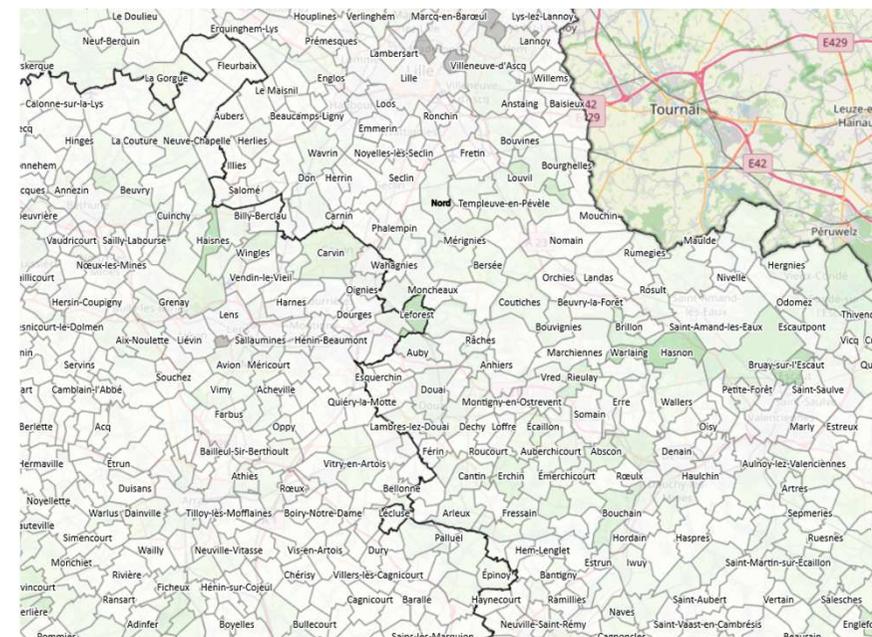
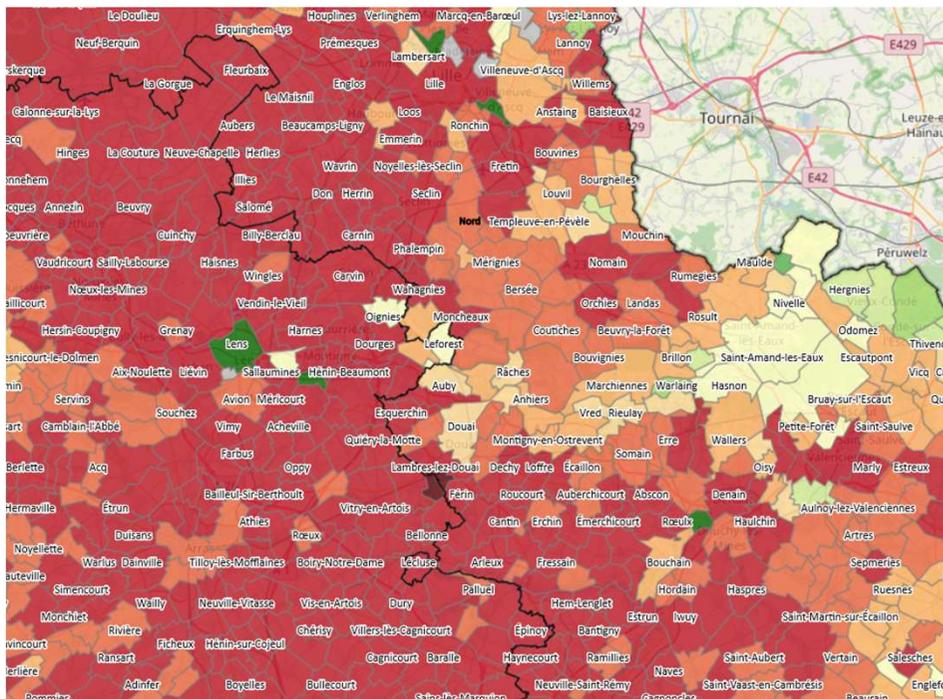
# Dias complémentaires



# Dias complémentaires



# Dias complémentaires

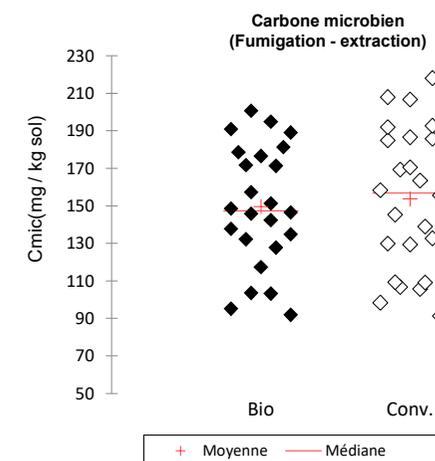
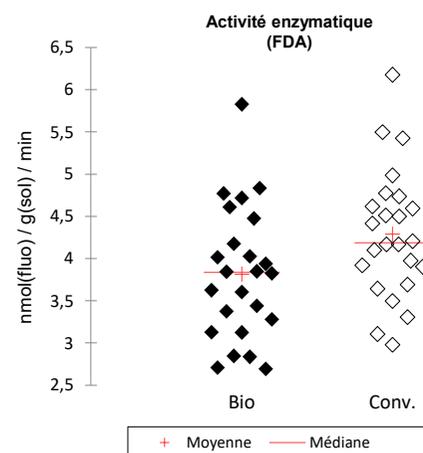
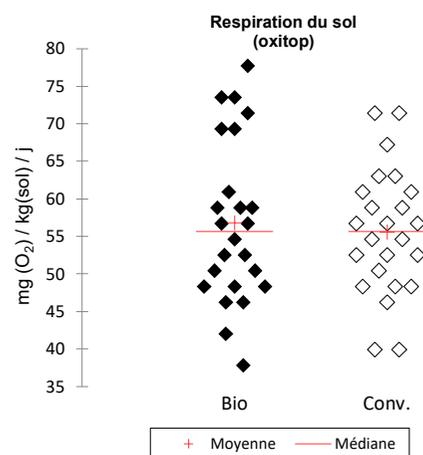


# Dias complémentaires

		Insecticide			Herbicide							Fongicide													
		Amétoctradin	Chlorantraniliprole	Flonicamide	Aclonifen	Carfentrazone-ethyl	Clomazone	Flufénacet	Metobromuron	Metribuzin	Prosulfocarb	Pyraflufène-éthyle	Amisulbrom	Benthiavdicarbe	Cyazofamid	Cymoxanil	Difenoconazole	Diméthomorph	Fluazinam	Fluopicolide	Mancozèbe	Mandipropamid	Oxiathiapiprolin	Propamocarb	Zoxamide
ANNO2	Conv	240					79		1250	180	2400				160	575		180	563		1499	150		1600	
BEUV1	Conv	480	12		108	72		1100	1100			21	466		480	766	485		200	100		600	15	2600	116
BEUV2	Conv	480	12	80	108	72		1100	406			21	530		480	881		360	200	100		750	15	2600	231
FONT1	Conv		1200		72	36			240	2400		160			80	238		180		88	2658	250	24	1675	
MARQ1	Conv	300			600	60	360	240		175		27		18	960	1650		425	200	63	1368	1500	100	1825	413
MARQ2	Conv	480	12		1200	60	72	360		263				28	400	557		720	188	100	5921	600	15	1800	415
TIII1	Conv				1165	70			90						320	411				94		300		3602	
WAT1	Conv				950	60	57		160			21		56	480	662	550		788		2240	750	30	2400	
ANNO1	Bio																								
Carv1	Bio																								
Carv2	Bio																								
GOUZ1	Bio																								
HAI51	Bio																								
HAI52	Bio																								
MARC1	Bio																								
MARC2	Bio																								

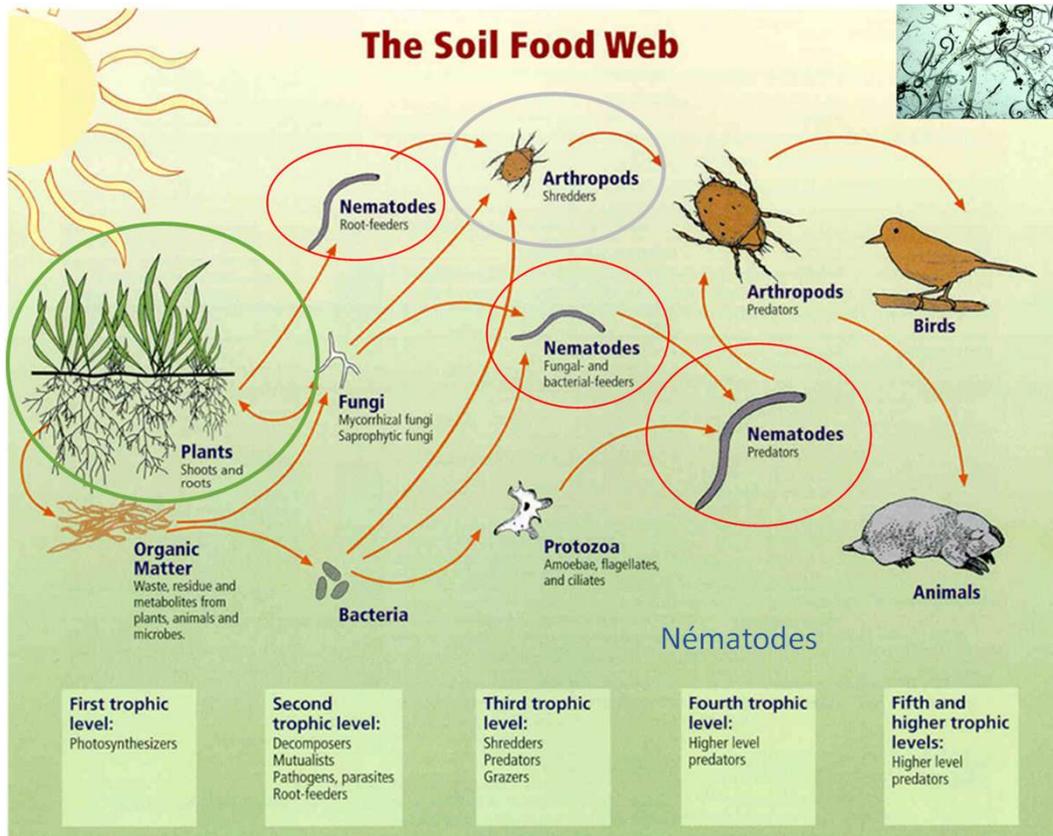
ITK administré sur toute la période de culture  
(dose : kg / ha)

# Dias complémentaires



Après la récolte, les activités biologiques des microorganismes ne dépendent pas du mode de gestion (Bio / conv.)

# Dias complémentaires

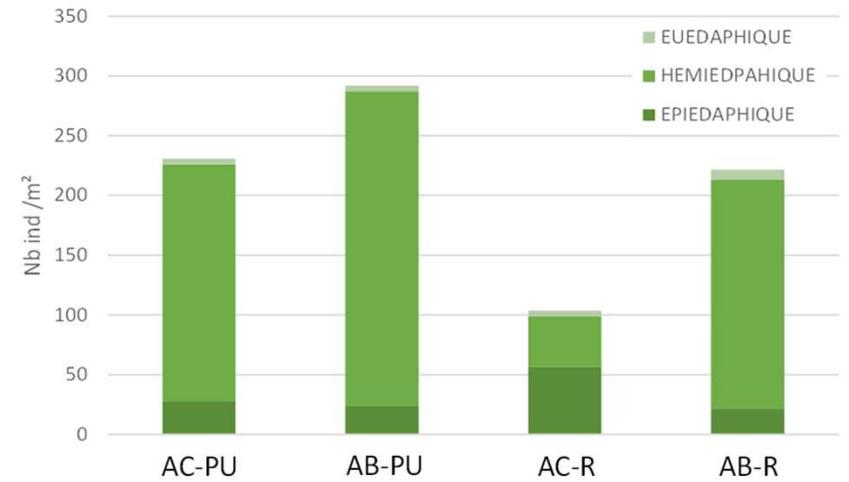
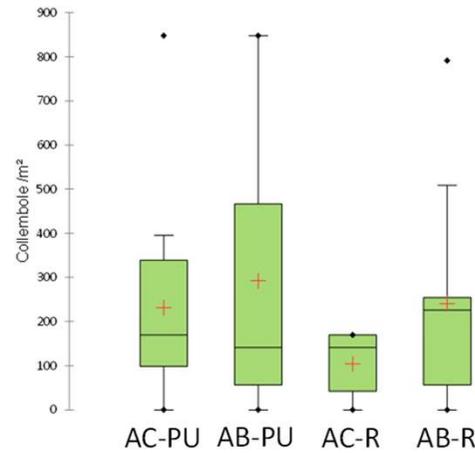
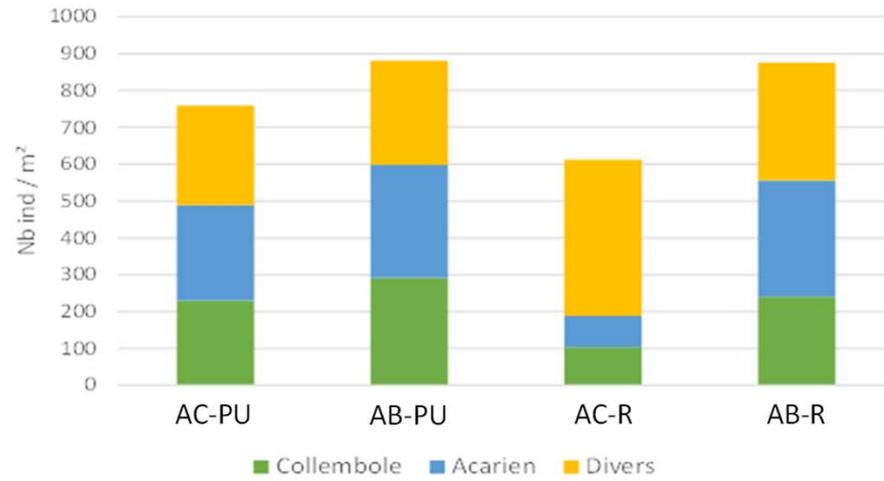


Flore adventice



Collemboles

# Dias complémentaires



# Dias complémentaires

ITK	Date	Nom commercial	Dose au champ	Matière active	Matière active dans produit commercial	Dose au champ	
			Unite L/ ha		Unite g/L	Unite g/ha	Unité mg/kg sol (20 cm sol = 360 kg)
ITK bio	07-06-2022 15H	CHAMP FLO AMPLI	0,85	dérivé de cuivre	360	306	0,09
	20-06-2022 07H	CHAMP FLO AMPLI	0,85	dérivé de cuivre	360	306	0,09
	27-06-2022 06H	BOUILLIE BORDELAISE NC 20 K	1,5 kg/ha	dérivé de cuivre		1500	0,42
ITK conventionnel	25-05-2022 05H	RANMAN TOP	0,5	cyazofamide	160	80	0,02
	03-06-2022 05H	REVUS	0,6	mandipropamid	250	150	0,04
	07-06-2022 15H	INFINITO	1,6	propamocarbe	625	1000	0,28
			1,6	fluopicolide	62,5	100	0,03
	13-06-2022 05H	REVUS	0,6	mandipropamid	250	150	0,04
	20-06-2022 08H	ZORVEC ENICADE	0,15	oxathiapiproline	100	15	0,00
		AZULEO	0,3	cyazofamide	160	48	0,01
			0,6	mandipropamid	250	150	0,04
	27-06-2022 07H	REVUS	0,6	mandipropamid	250	150	0,04
	08-07-2022 05H	RANMAN TOP	0,25	cyazofamide	160	40	0,01
		PYGMALION	2	phosphonates de potassium	755	1510	0,42
			2,5	pyraclostrobine	40	100	0,03
	21-07-2022 05H	OPTIMO TECH	2,5	diméthomorphe	72	180	0,05
	28-07-2022 05H	GACHINKO	0,5	amisulbrom	200	100	0,03
	01-08-2022 15H	ITCAN SL 270	11	hydrazide maléique	270	2970	0,83
	08-08-2022 05H	RANMAN TOP	0,5	cyazofamide	160	80	0,02
	16-08-2022 05H	GACHINKO	0,5	amisulbrom	200	100	0,03
	16-08-2022 06H	SORCIER	0,8	pyraflufène-éthyle	26,5	21,2	0,01
		ACTIROB B	1	ester méthylique	842	842	0,23
			0,5	carfentrazone-ethyl	60	30	0,01
24-08-2022 06H	RANMAN TOP	0,5	cyazofamide	160	80	0,02	
24-08-2022 07H	SPOTLIGHT PLUS	0,7	carfentrazone-ethyl	60	42	0,01	
	ACTIROB B	1	ester méthylique	842	842	0,23	

# Dias complémentaires



Phytosanitaire dans le sol (mg / kg)	Biologique		Conventionnelle		ITK			
	Mars (T0)	Septembre (T1)	Mars (T0)	Septembre (T1)				
Aclonifen	-	-	-	0,036				
Amisulbrom	d, NQ	-	d, NQ	0,020	28-juil	16-août		
Anthraquinone	d, NQ	-	d, NQ	d, NQ				
Boscalid	-	-	0,012	0,015				
Carfentrazone	-	-	-	0,021	16-août	24-août		
Clomazone	d, NQ	-	d, NQ	0,016				
Cyazofamid	-	-	d, NQ	d, NQ	20-juin	08-juil	08-août	24-août
DDT (sum of isomers)	d, NQ	d, NQ	d, NQ	d, NQ				
Dicofol	-	-	-	-				
Dieldrin	0,002	0,004	0,005	0,004				
Dimethomorph	-	-	-	0,109	21-juil			
Endosulfan	-	-	d, NQ	d, NQ				
Fluopicolide	-	-	-	0,045	07-juin			
Fluopyram	d, NQ	-	-	d, NQ				
HCH-gamma (Lindane)	-	d, NQ	-	d, NQ				
Heptachlor (sum of isomers)	d, NQ	d, NQ	d, NQ	d, NQ				
Hexachlorobenzene (HCB)	d, NQ	d, NQ	d, NQ	d, NQ				
Mandipropamid	-	-	-	0,072	03-juin	13-juin	27-juin	
Metribuzin	-	-	-	0,020				
Propamocarb	-	-	d, NQ	d, NQ	07-juin			
Pyraclostrobin	-	-	d, NQ	0,058	21-juil			
Pyraflufen	-	-	-	0,015	16-août			
Quintozene metabolite	0,007	0,006	0,002	0,002				
Tebuconazole	-	-	-	d, NQ				

# Dias complémentaires



Composés

Carfentrazone (expr.as  
carfentrazone-ethyl)  
Propamocarb (+salts)  
Chlorpropham (CIPC)  
1,4-dimethylnaphtalene

x : non détecté unité (mg/kg)

d : détecté

Conv. sortie champ			Bio sortie champ			Conv. + Conservation (3 mois)			Bio + Conservation (3 mois)			Cons SP 500ul	Bio SP
d	d	d	x	x	x	x	x	x	x	x	x	d	x
d	0,012	d	x	x	x	0,01	x	x	x	x	x	d	x
x	x	x	x	x	x	0,01	x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	5,20	x	x	x	x	x	x	x

LASIRE

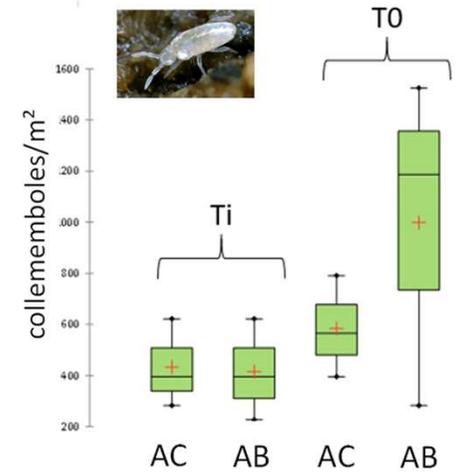
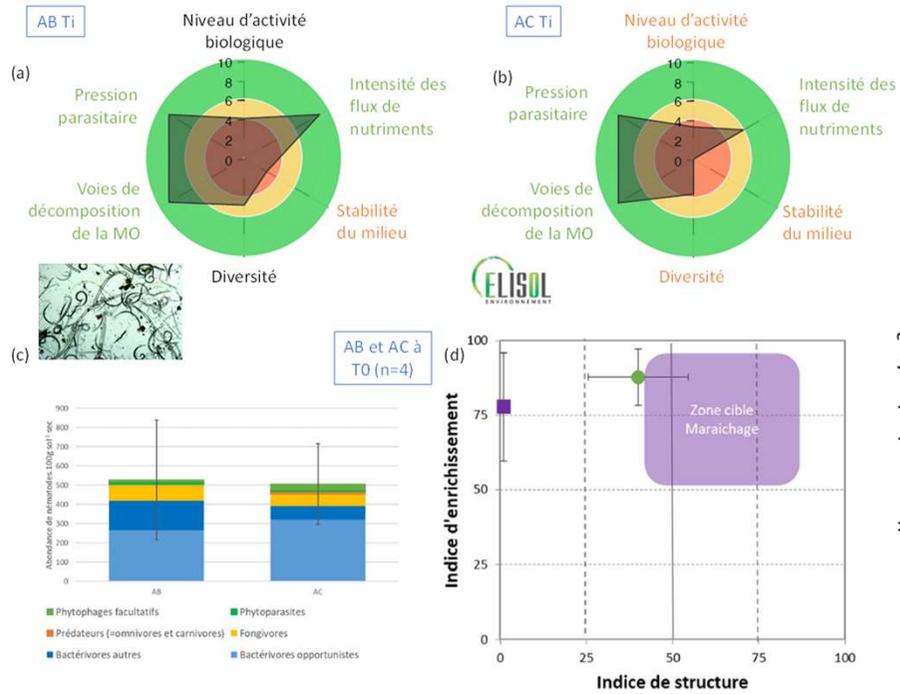


Farine de PdT

Nécessité de diminuer le niveau de détection  
( $\mu\text{g} / \text{kg}$ )

→ Tout les PP recherchés ont été détectés

# Dias complémentaires



# Dias complémentaires

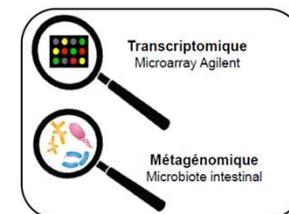


Tubercules de pomme de terre

Gavage journalier  
3 semaines  
Farine

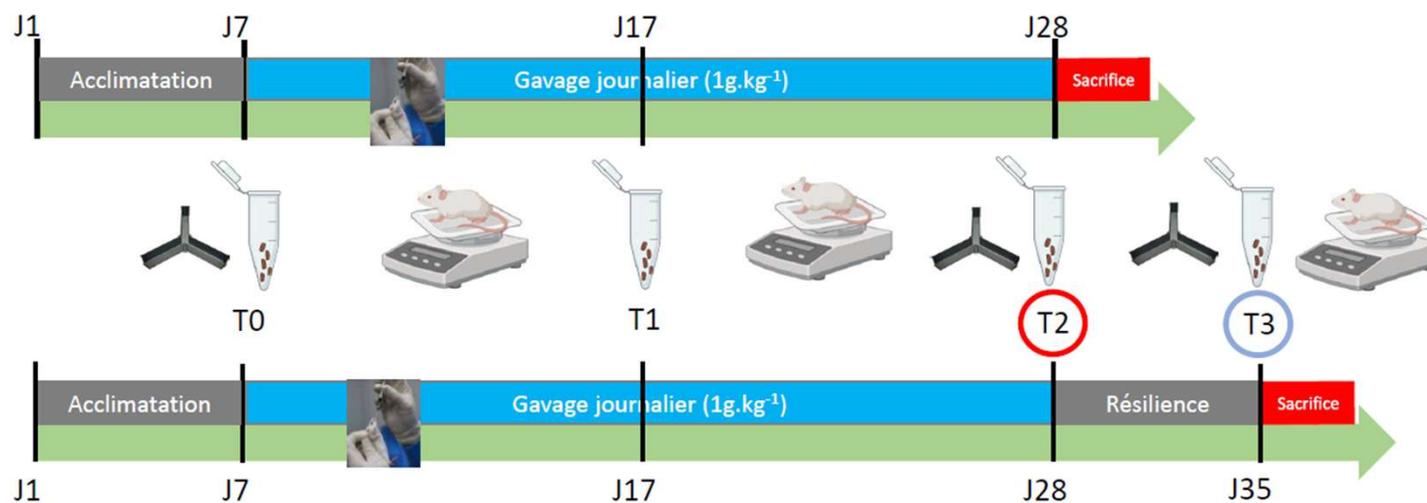


Conditions à tester :  
i) conventionnelle vs bio  
ii) sans stockage vs avec stockage



- > 6 groupes de 12 souris
- > Alimentation standard *ad libitum*
- > Cycle lumière/nuit : 12h/12h  
(Nuit : 9 am)

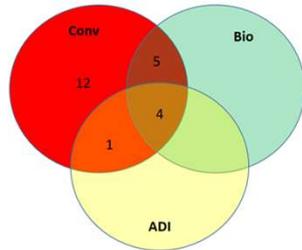
Groupes	Traitement
PB	PdT Bio
PBS	PdT Bio avec stockage
PC	PdT conventionnel
PCS	PdT conventionnel avec stockage
Ctrl Eau	Eau
Ctrl ADI	Mix pesticides ADI



# Dias complémentaires

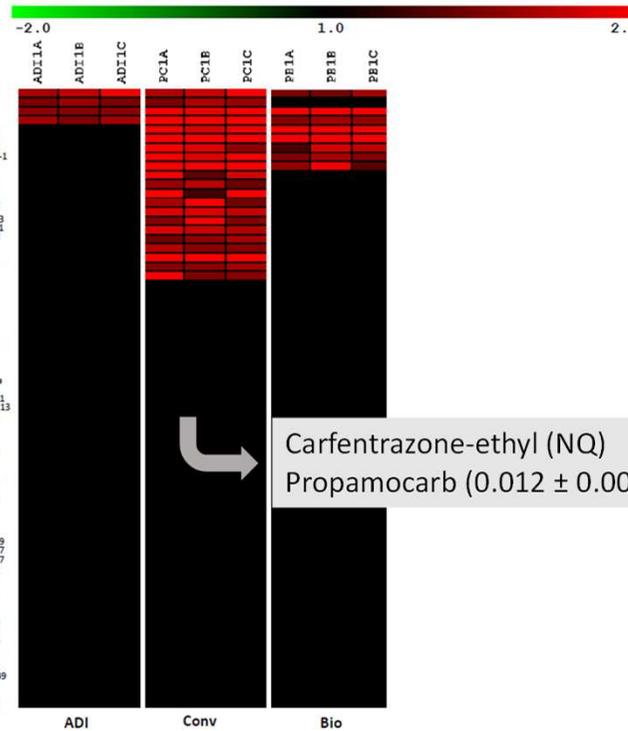
## PHASE 3 – année 3 Experimentations avec les matrices exportées des parcelles expérimentales

Transcriptomique



Nombre de gènes dérégulés dans le tissu hépatique

- Cancer
- Obésité
- Inflammation
- Système nerveux

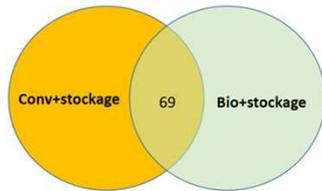


- somatic cell reprogramming
- carcinogenesis
- cell proliferation
- regulation of feeding behavior
- regulation of feeding behavior
- DNA repair
- immunity
- immunity
- cell adhesion
- defense response
- glucose metabolism
- glucose metabolism
- cholesterol biosynthesis
- drug metabolism / cholesterol biosynthesis
- drug metabolism / cholesterol biosynthesis
- drug metabolism / cholesterol biosynthesis
- nervous system
- signaling / nervous system
- regulation / nervous system
- signaling
- transport
- transport
- carcinogenesis
- cancer cell proliferation
- regulation / carcinogenesis
- cell transformation
- cell proliferation
- cell cycle
- transcription regulation / cell cycle
- immunity / cell differentiation
- immunity
- response to bacterium
- lipid metabolism / role in inflammation
- inflammation / obesity
- lipid metabolism
- cell signaling / cell migration
- cell signaling / spermatogenesis
- cell differentiation / spermatogenesis
- cell signaling / nervous system / sensory perception of pain
- cell differentiation / nervous system
- transcription regulation / nervous system
- transcription regulation / nervous system
- transcription regulation
- protein transport
- protein transport
- transport
- transport
- transport
- RNA processing
- signaling / response to pheromone
- bicarbonate homeostasis
- melanin biosynthesis
- unknown



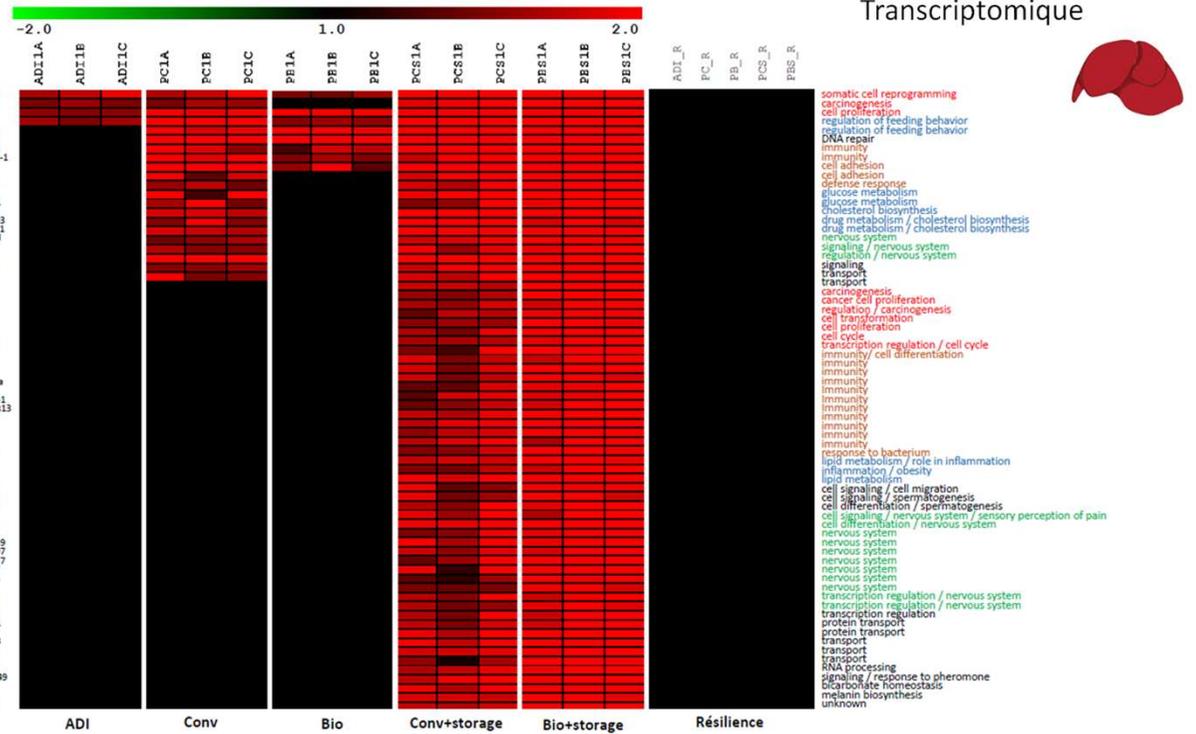
# Dias complémentaires

## PHASE 3 – année 3 Experimentations avec les matrices exportées des parcelles expérimentales

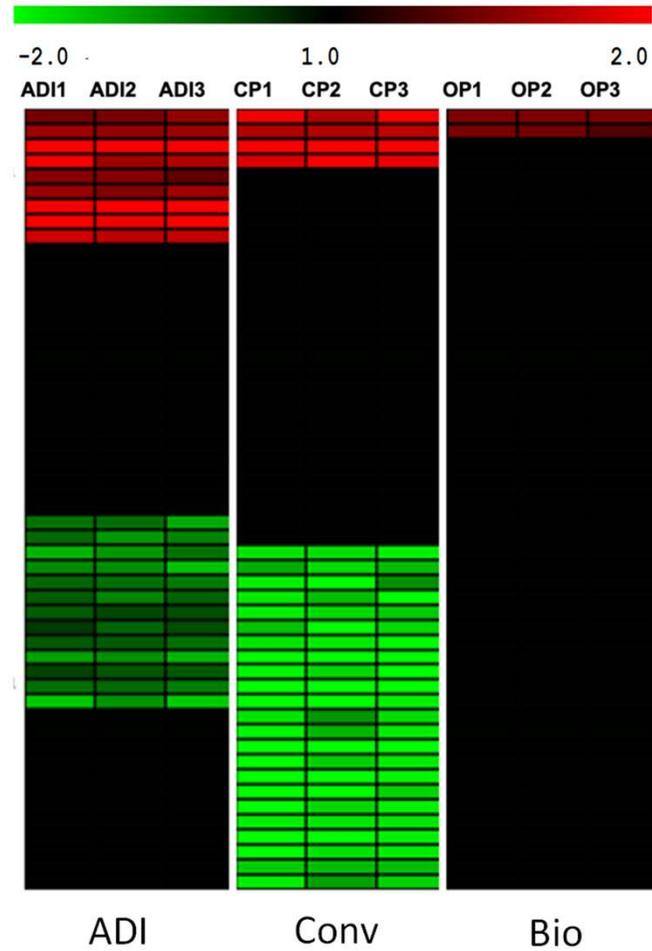


Nombre de gènes dérégulés dans le tissu hépatique

- Cancer
- Obésité
- Inflammation
- Système nerveux



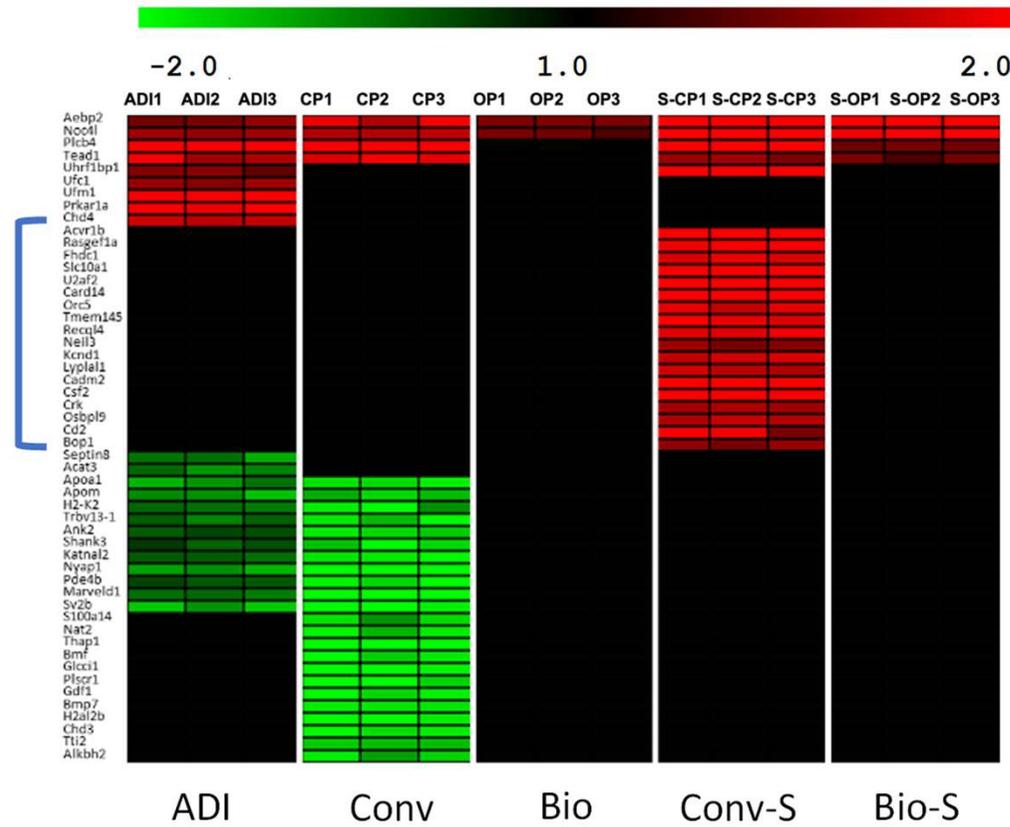
# Dias complémentaires



Transcriptomique

Cancer  
Obésité  
Inflammation  
Système nerveux

# Dias complémentaires

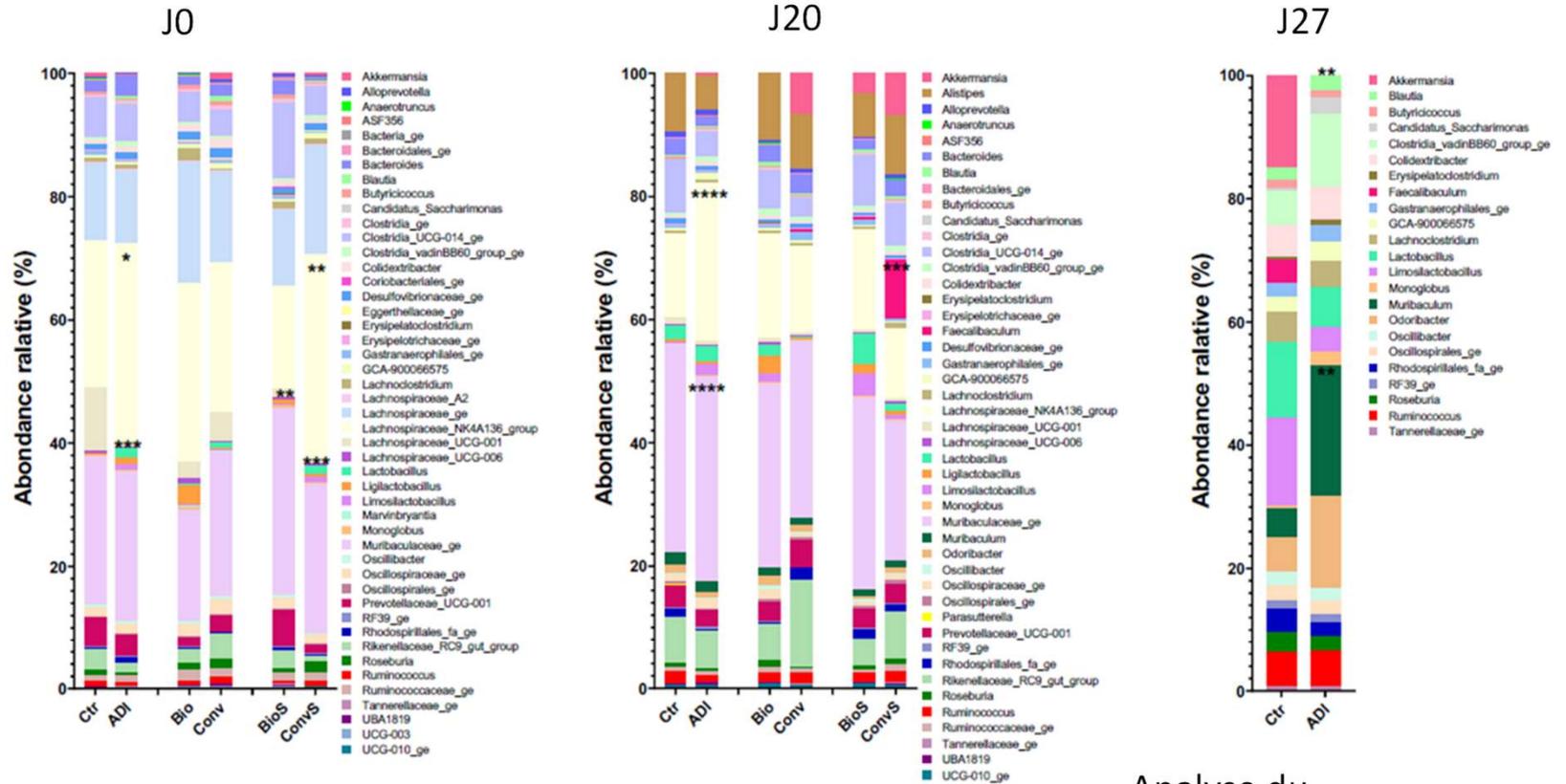


Transcriptomique

- Cancer
- Obésité
- Inflammation
- Systeme nerveux



# Dias complémentaires



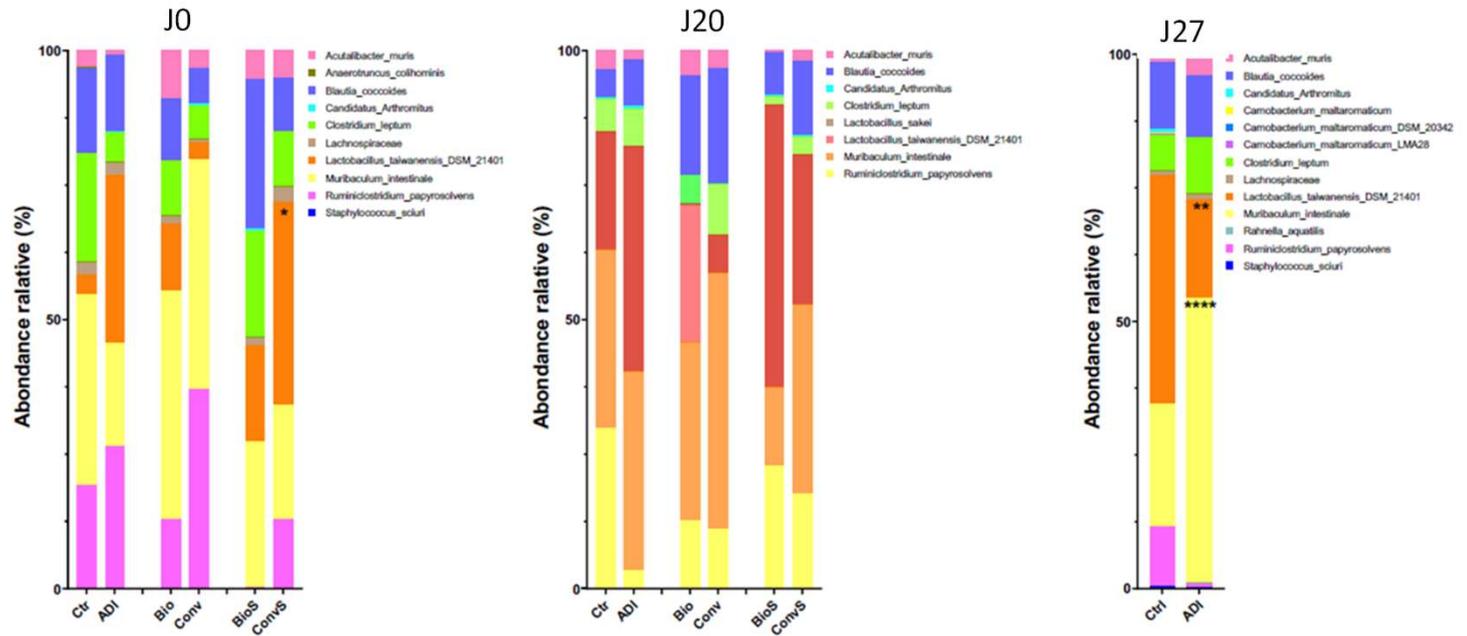
Analyse du microbiote (genre)

↗ *Muribaculaceae* condition ADI et *Faecalibaculum* modalité ConvS après 20 jours

↗ *Blautia* et *Roseburia* modalité ADI après la résilience



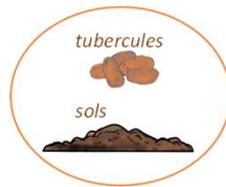
# Dias complémentaires



↗ *Muribaculum intestinal* pour la condition ADI après la résilience

Analyse du microbiote (espèce)

# Dias complémentaires



- ✓ Sachet de thé en coton
- ✓ 500 mg de foin de la plaine de Crau
- ✓ 300 g de sol
- ✓ 60% WHC
- ✓ 25°C
- ✓ 60% hygrométrie

## Un essai

### En bref

- Effet temps

- Effet sol
- (Bio vs Conv)

(Kruskal-Wallis)

- Pas d'effet contamination additionnelle

Fonctionnalité affectée par la saison culturale ?

