



Projet MixTox :

Comment évaluer l'exposition et l'impact des produits phytopharmaceutiques sur la faune du sol en grande culture ?



Colette BERTRAND

*Sylvie Néliu, Marjolaine Deschamps, Antoine Bamière, Véronique Etiévant, Lucie Martin, Ghislaine Delarue, Valentin Serre, Nathalie Bernet
Céline Pelosi*

Clémentine Fritsch, Michaël Coeurdassier, Frédéric Gimbert, Dominique Rieffel

Gaëlle Danièle, Florent Lafay, Emmanuelle Vulliet

Julien Tournebize, Arnaud Blanchouin, Hocine Henine



Contexte



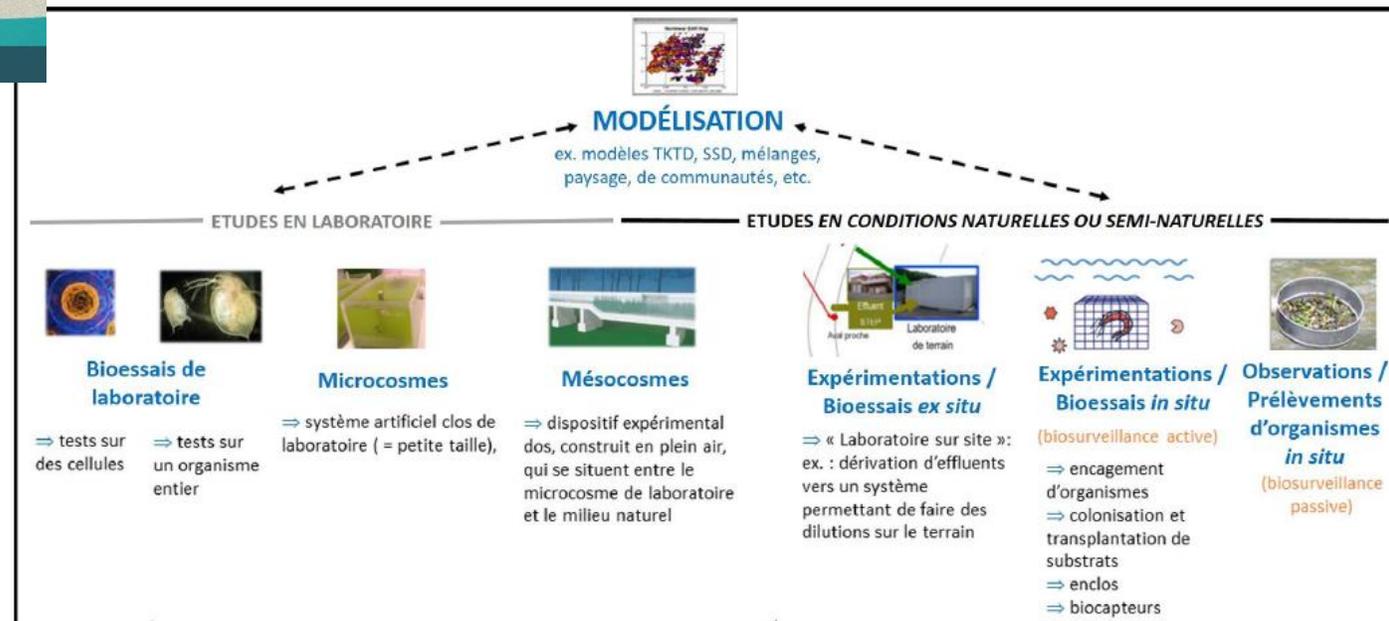
Produits phytopharmaceutiques (PPP) → contamination diffuse de l'environnement

Présence systématique de mélanges de PPP dans les sols agricoles en grandes cultures

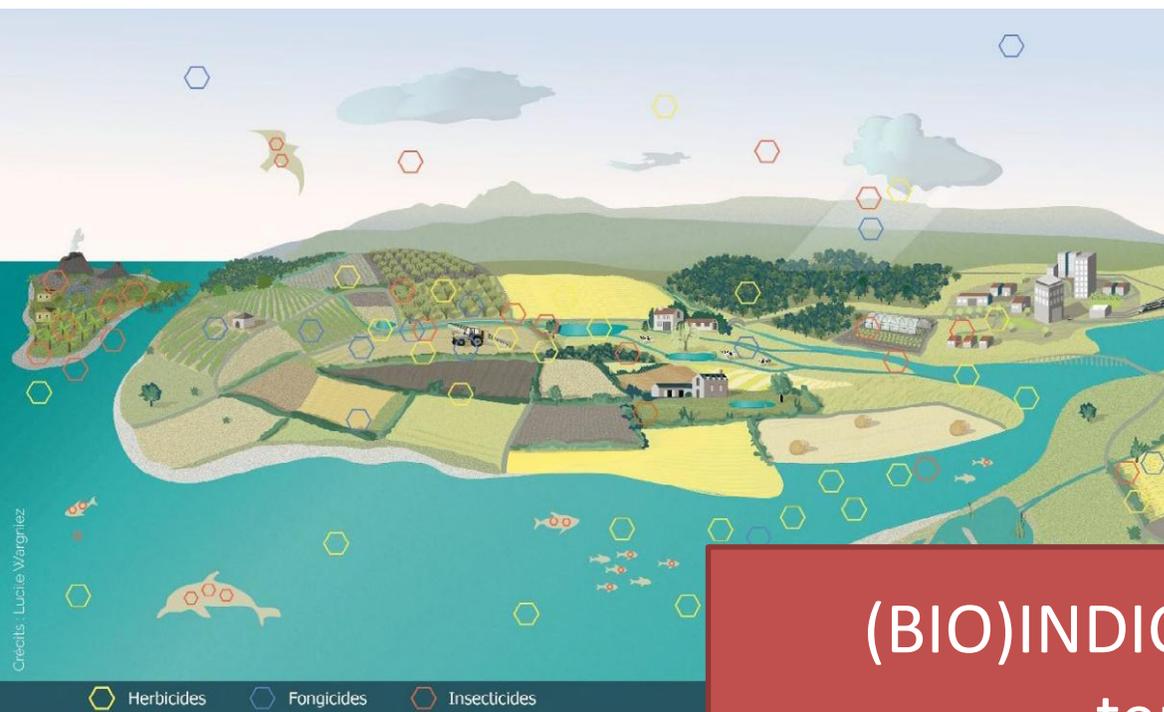
A quels « cocktails » de molécules sont exposés certains organismes du sol??

PPP → effets indésirables sur la biodiversité du sol

Quels sont les effets sur des organismes du sol des mélanges de PPP retrouvés dans les sols agricoles ??



Contexte



Produits phytopharmaceutiques (PPP) → contamination diffuse de l'environnement

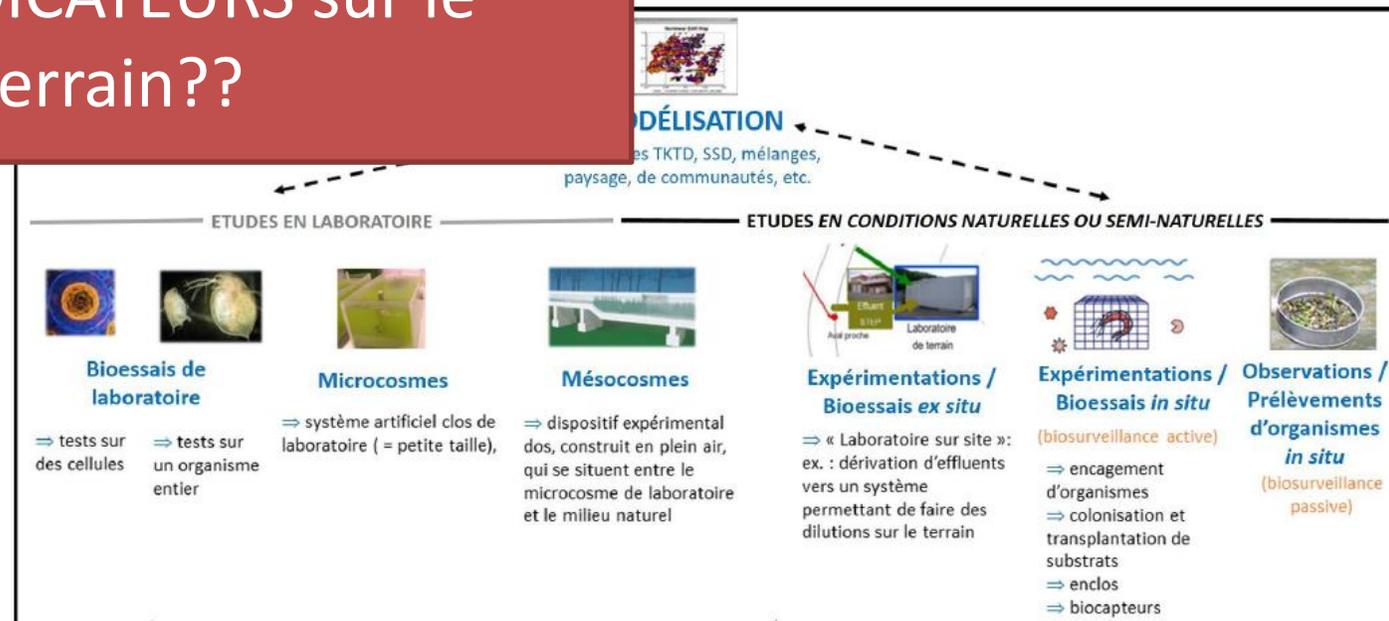
Présence systématique de mélanges de PPP dans les sols agricoles en grandes cultures

A quels « cocktails » de molécules sont exposés certains organismes du sol??

(BIO)INDICATEURS sur le terrain??

PPP → effets indésirables sur la biodiversité du sol

Quels sont les effets sur des organismes du sol des mélanges de PPP retrouvés dans les sols agricoles ??



Objectifs du projet

Caractériser la contamination diffuse des sols par des cocktails de pesticides et les risques écotoxicologiques associés

1. Caractérisation la plus exhaustive possible des **mélanges de pesticides** présents *in natura*, et de leurs concentrations actuelles, dans les **sols** de parcelles de grandes cultures en AC et AB
2. Caractérisation de **l'exposition des organismes du sol** à ces mélanges de pesticides, via des mesures de bioaccumulation dans des individus prélevés *in natura* (vers de terre, carabes, escargots)
3. Comprendre les processus de transfert des pesticides, et évaluer en **conditions contrôlées** (laboratoire) la **bioaccumulation** des mélanges dans des **organismes modèles** (vers de terre, escargots, carabes)
4. Mesurer en **conditions contrôlées** (laboratoire) les **impacts écotoxicologiques** de cette contamination/exposition par des cocktails de molécules sur ces **organismes modèles**

Objectifs du projet

Caractériser la contamination diffuse des sols par des cocktails de pesticides et les risques écotoxicologiques associés

1. Caractérisation la plus exhaustive possible des **mélanges de pesticides** présents *in natura*, et de leurs concentrations actuelles, dans les **sols** de parcelles de grandes cultures en AC et AB
2. Caractérisation de **l'exposition des organismes du sol** à ces mélanges de pesticides, via des mesures de bioaccumulation dans des individus prélevés *in natura* (vers de terre, carabes, escargots)
3. Comprendre les processus de transfert des pesticides, et évaluer en **conditions contrôlées** (laboratoire) la **bioaccumulation** des mélanges dans des **organismes modèles** (vers de terre, escargots, carabes)
4. Mesurer en **conditions contrôlées** (laboratoire) les **impacts écotoxicologiques** de cette contamination/exposition par des cocktails de molécules sur ces **organismes modèles**

Identifier des (bio)indicateurs d'usage, d'impact ou d'exposition → permettant de renseigner sur l'écotoxicité des sols

Volet 1 : Acquisition d'échantillons in natura

BV Orgeval



BV Rampillon



Limons de plateaux

Céréales

19 parcelles AB
21 parcelle AC



MARS - AVRIL 2022



Volet 1 : Acquisition d'échantillons *in natura*

n = 12 parcelles AC

Metsulfuron methyl (100%)
Flufenacet (100%)
Diflufenican (83%)
Mesotrione (83%)
Glyphosate (83%)
Fluroxypyr (67%)
Prothioconazole (58%)
Pendimethaline (58%)
Metconazole (58%)
Fluxapyroxad (58%)
Tebuconazole (42%)
Prosulfocarb (42%)
Nicosulfuron (42%)
Difenoconazole (42%)
S-Metolachlor (42%)
Benoxacor (42%)
Iodosulfuron (42%)
Mefluidide (42%)
Cloquintocet mexyl (42%)
Mesosulfuron (42%)
Foramsulfuron (42%)
Isoxadifen-ethyl (42%)

Limons de plateaux

Céréales

19 parcelles AB
21 parcelle AC

Enquêtes / pratiques
 (5 dernières années)



BV Orgeval

BV Rampillon

Volet 2 : Screening des contaminations



Propriétés physico-chimiques

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras

pH, P_2O_5 , $CaCO_3$ total, C organique, N total, granulométrie 5 fractions

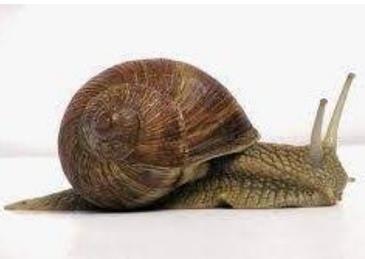


Large screening de pesticides

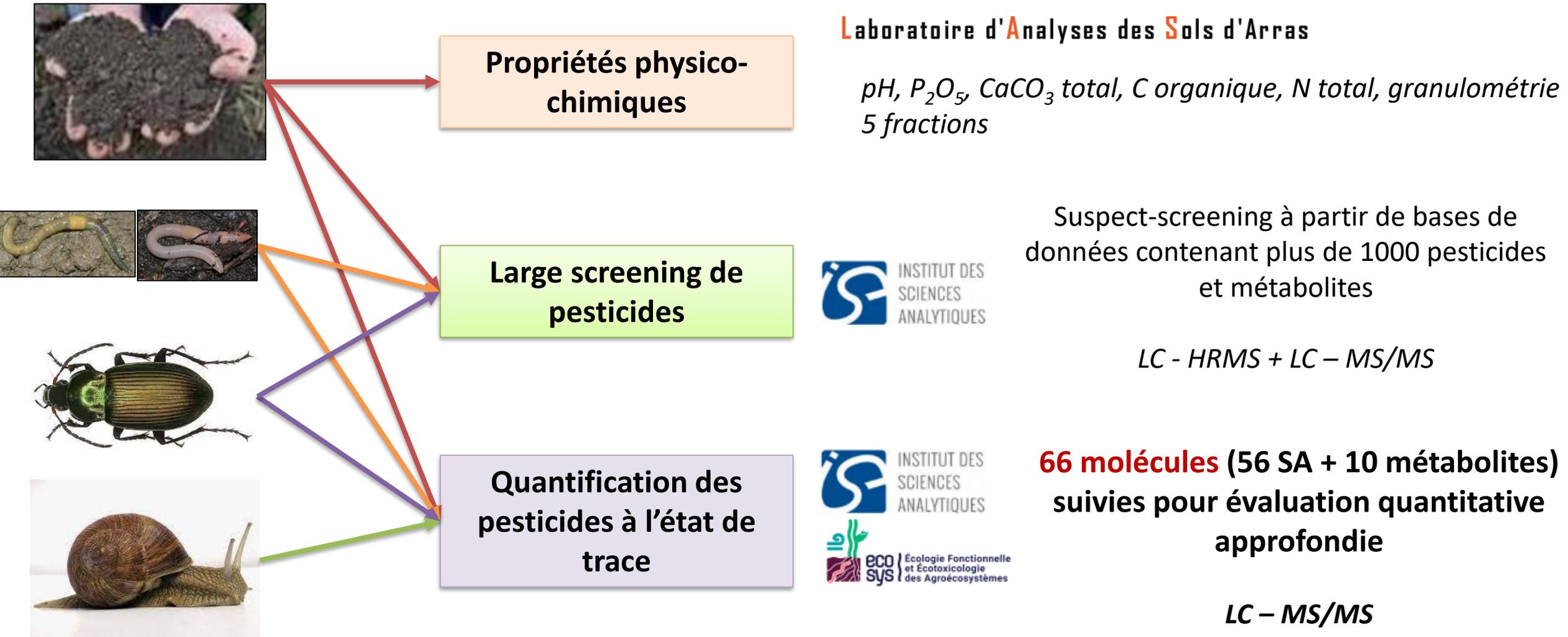
Suspect-screening à partir de bases de données contenant plus de 1000 pesticides et métabolites



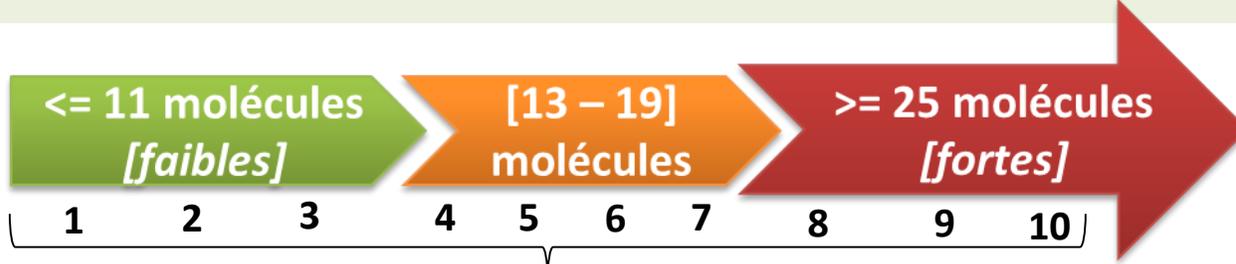
LC - HRMS + LC - MS/MS



Volet 2 : Screening des contaminations



Volet 3 : *Bioaccumulation et écotoxicité*



10 SOLS PRELEVES SUR LE TERRAIN

Propriétés physico-chimiques similaires
(e.g. texture, MO, pH)

Volet 3 : Bioaccumulation et écotoxicité

≤ 11 molécules
[faibles]

[13 – 19]
molécules

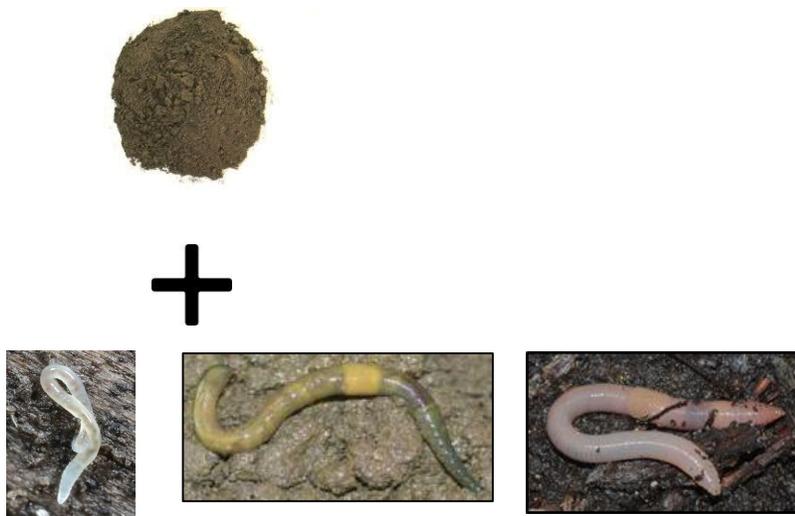
≥ 25 molécules
[fortes]

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 SOLS PRELEVES SUR LE TERRAIN

Propriétés physico-chimiques similaires

Laboratoire



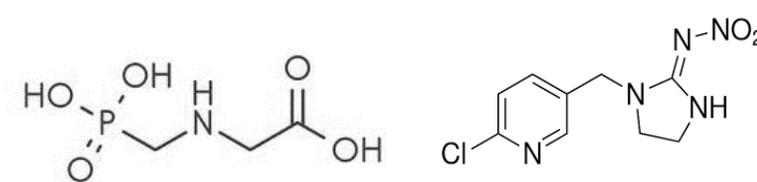
Survie

Croissance

Reproduction

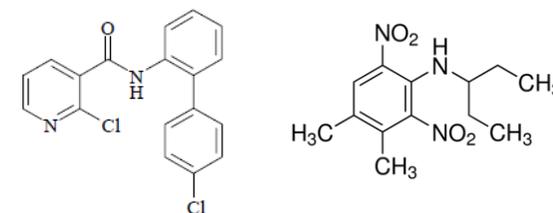
Activité / motricité

Activités
enzymatiques



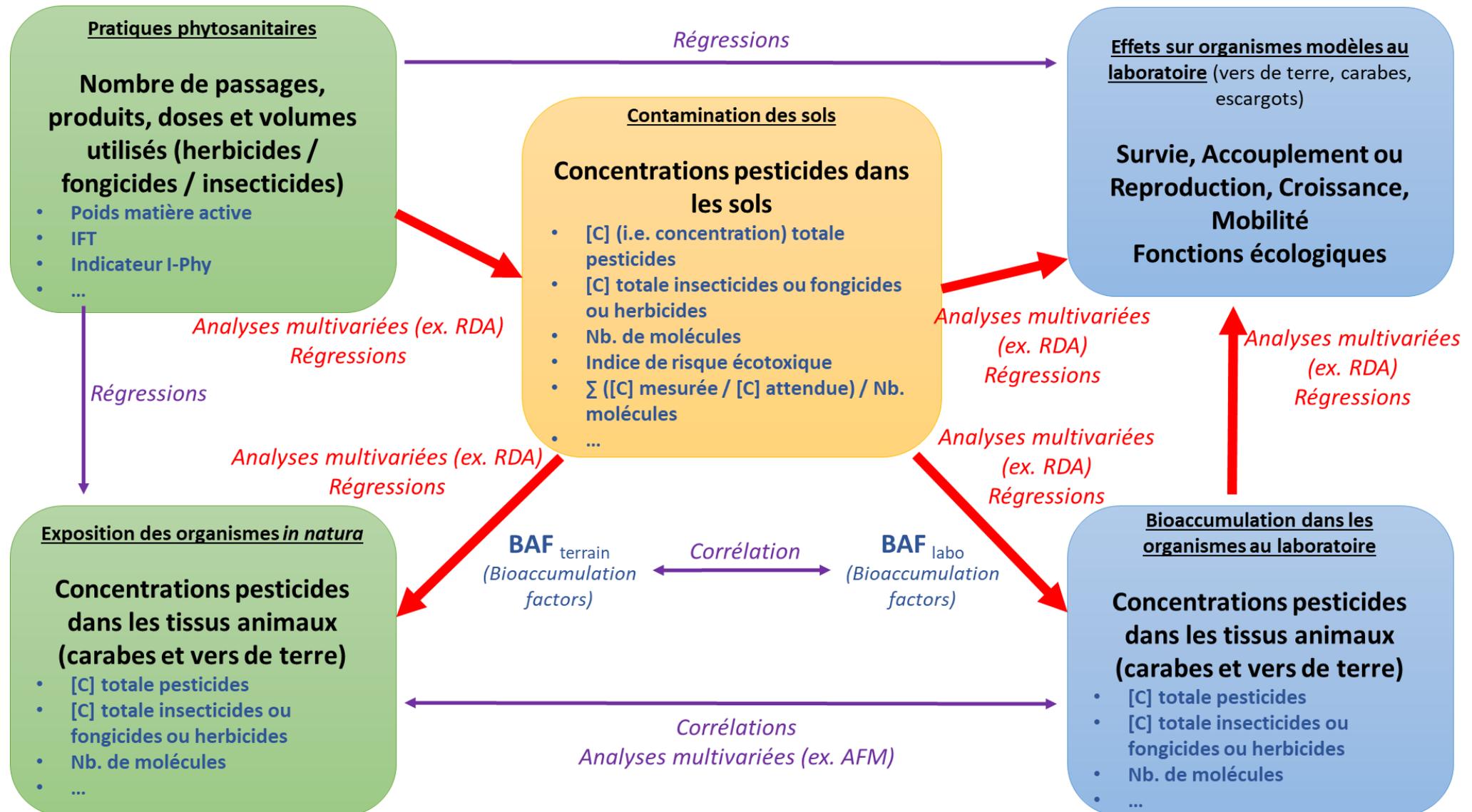
**+ BIOACCUMULATION
des pesticides dans les
organismes**

Quantification des
pesticides à l'état de traces



**66 molécules
LC – MS/MS**

Volet 4 : Analyse des données



Volet 2 : *Screening des contaminations*



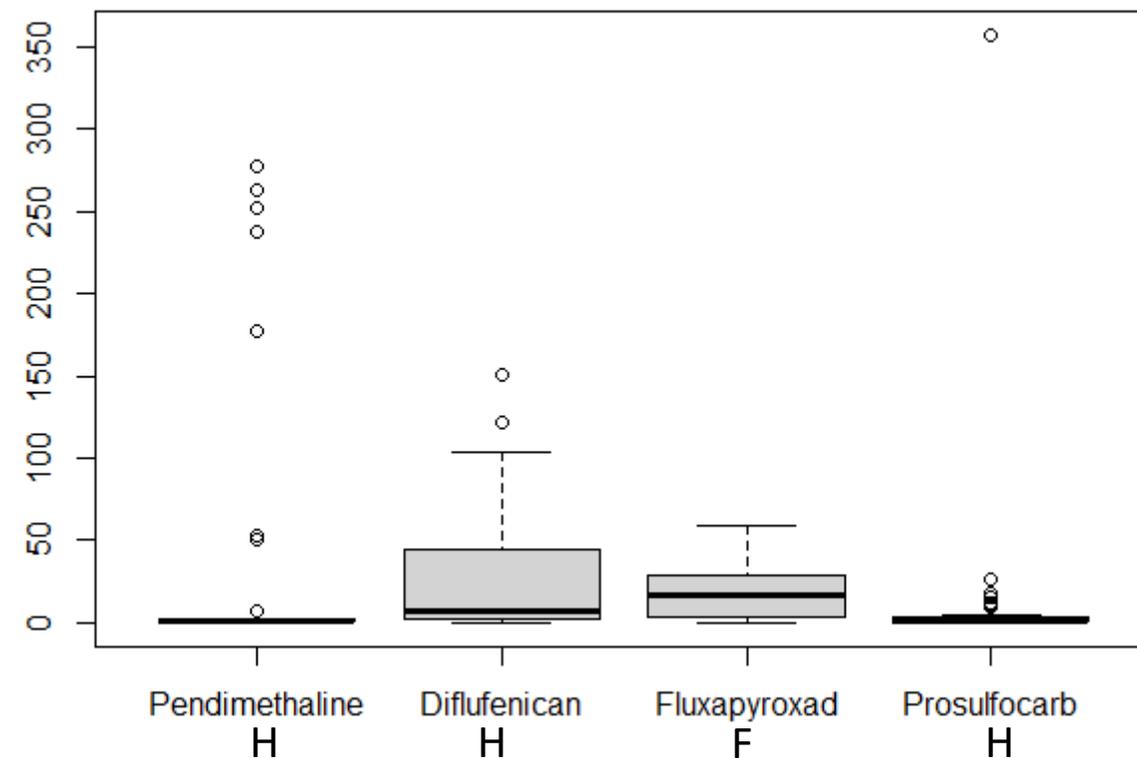
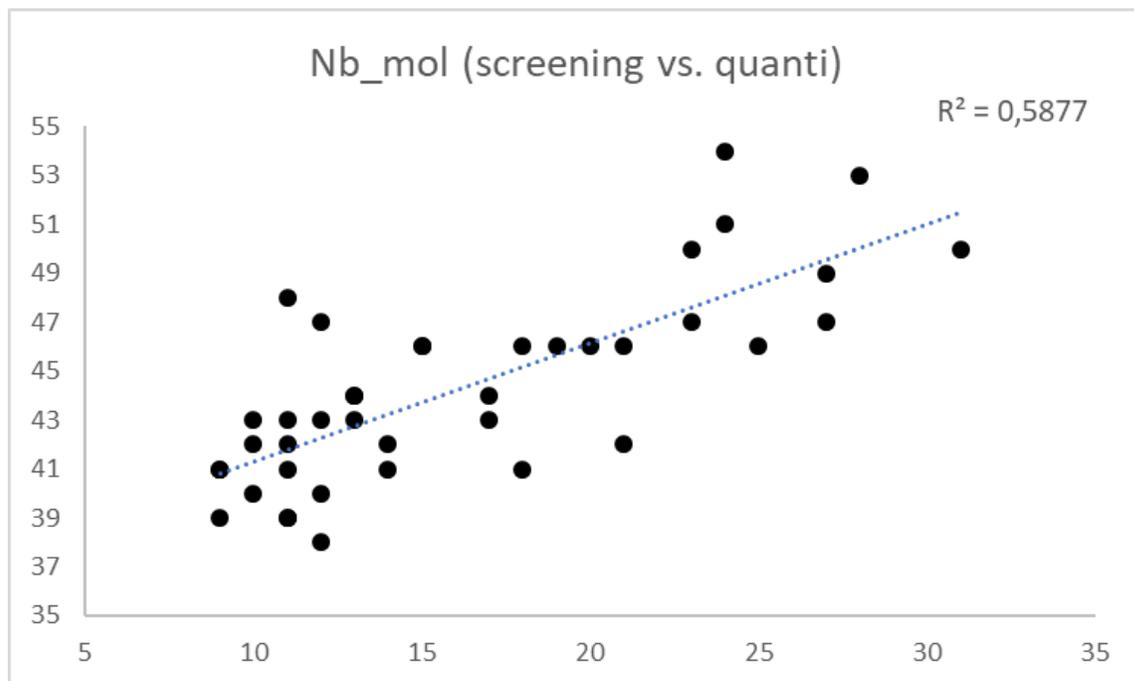
Large screening de pesticides

Quantification des pesticides

51 MOLECULES IDENTIFIEES (SOLS ; n=40)

58 molécules quantifiées / 66 recherchées

100% des échantillons contaminés



Volet 2 : Screening des contaminations



Large screening de pesticides

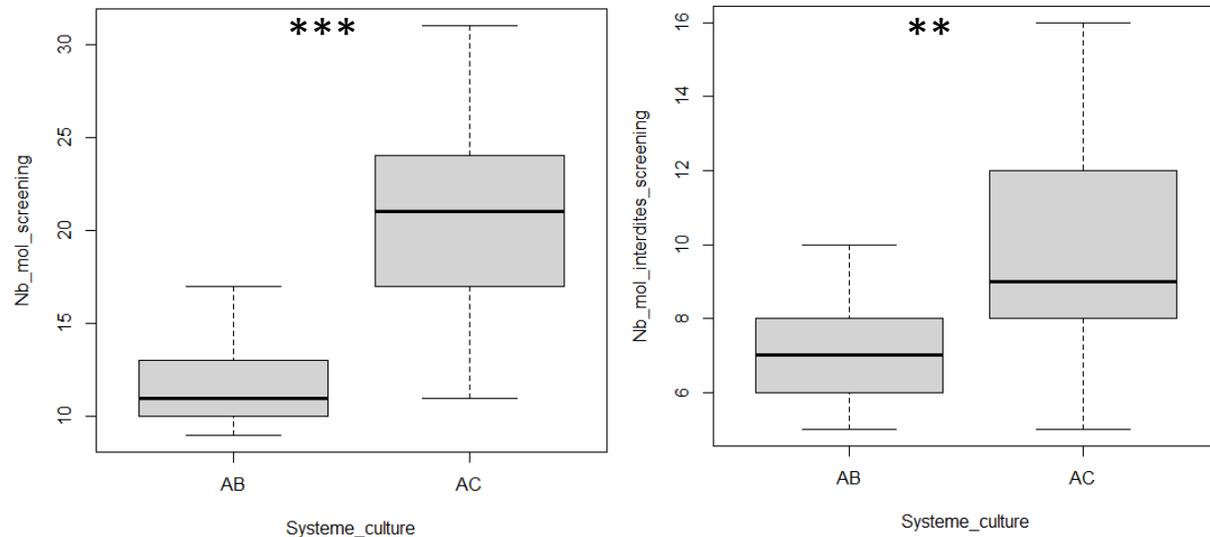
Quantification des pesticides

51 MOLECULES IDENTIFIEES (SOLS ; n=40)

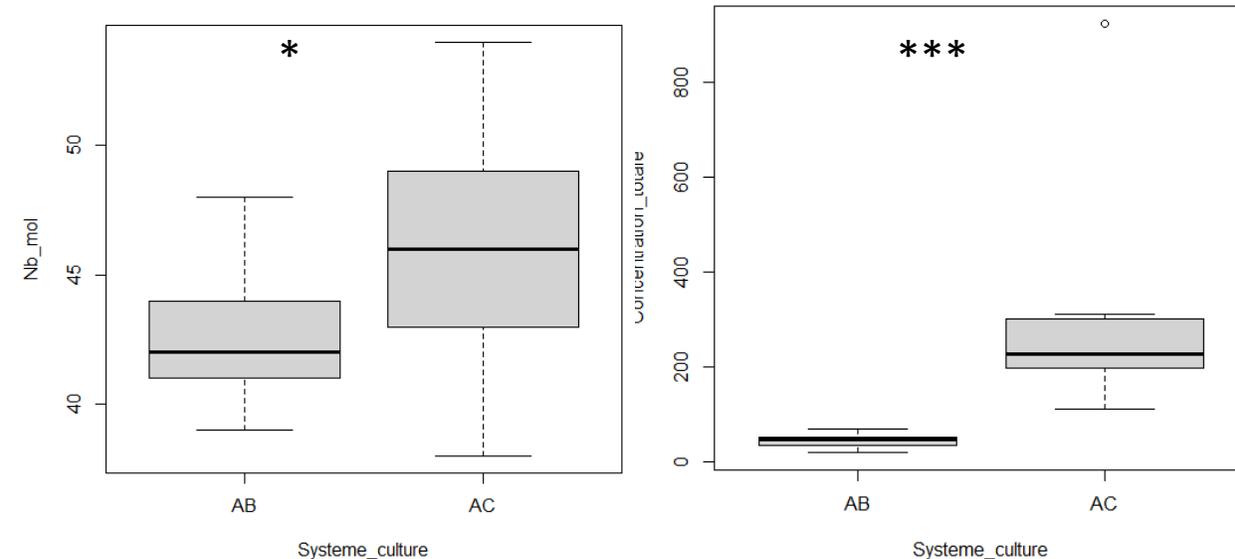
58 molécules quantifiées / 66 recherchées

100% des échantillons contaminés

Large screening de pesticides



Quantification des pesticides



Volet 2 : *Screening des contaminations*



Pratiques agricoles

Quantification des pesticides

34 molécules appliquées / 55 s.a. recherchées

49 molécules quantifiées / 55 s.a. recherchées

Volet 2 : Screening des contaminations



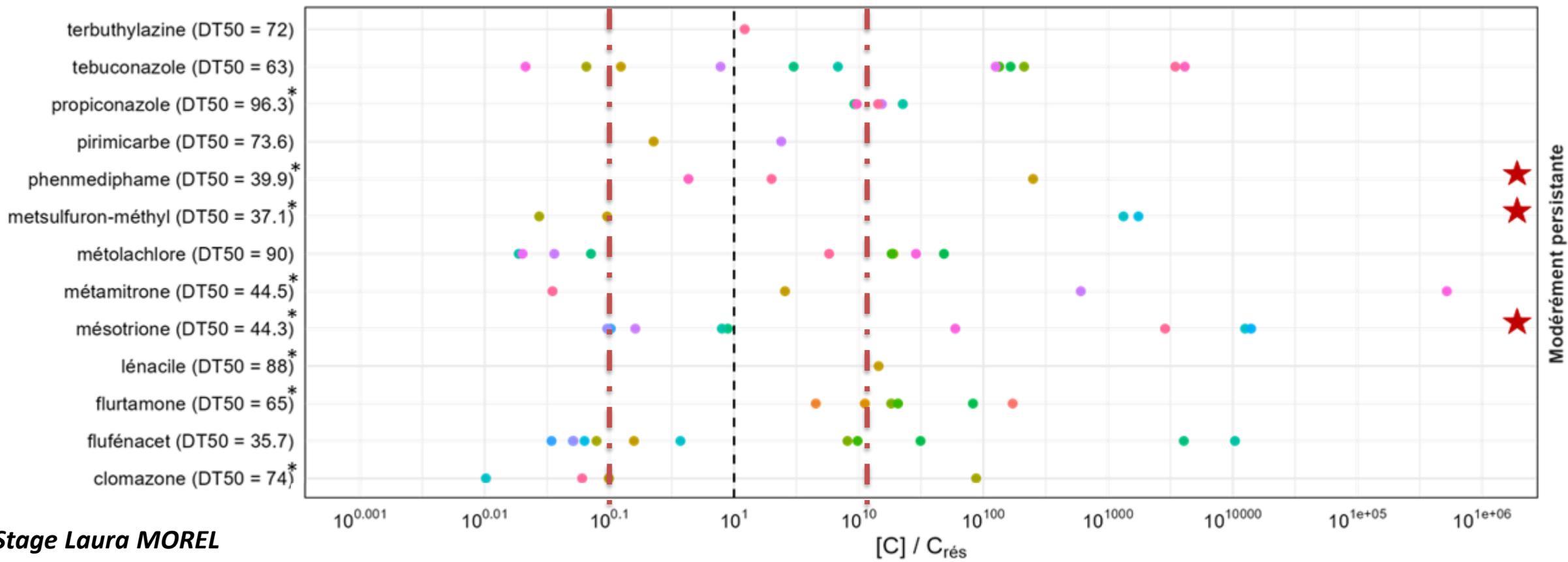
Pratiques agricoles

Quantification des pesticides

34 molécules appliquées / 55 s.a. recherchées

49 molécules quantifiées / 55 s.a. recherchées

Comparaison des concentrations mesurées [C] et résiduelles calculées Crés



Volet 2 : Screening des contaminations



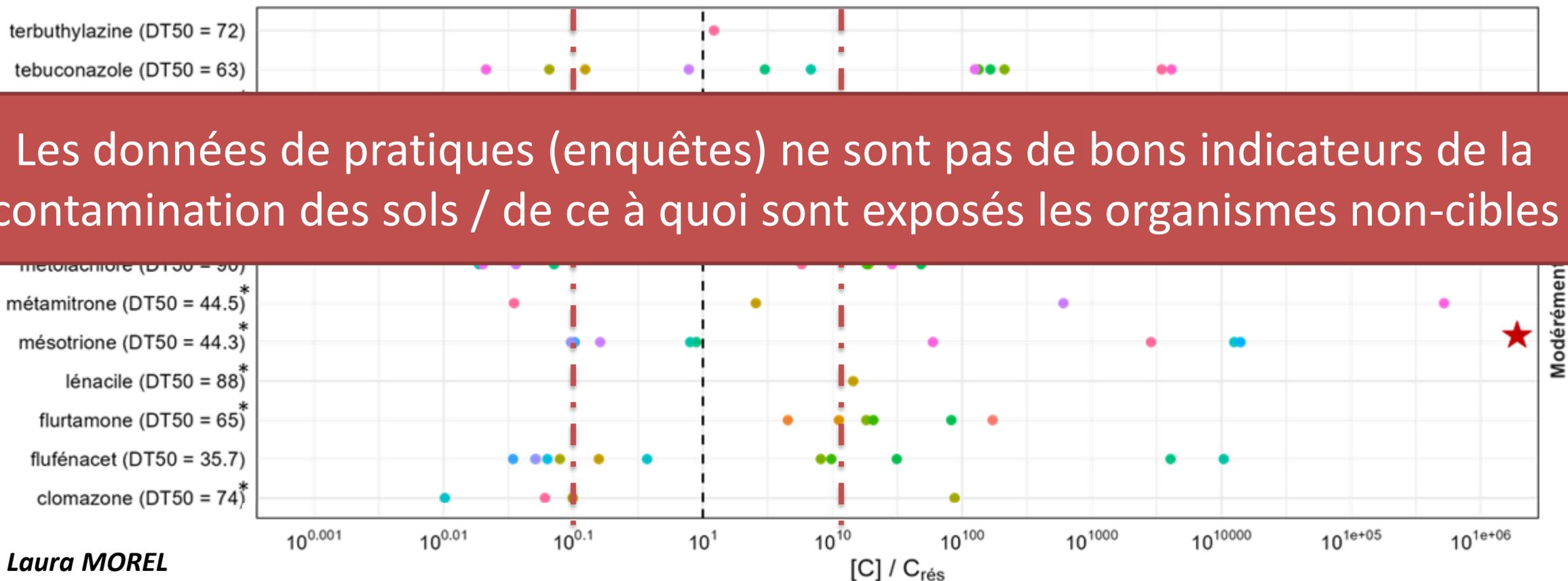
Pratiques agricoles

Quantification des pesticides

34 molécules appliquées / 55 s.a. recherchées

49 molécules quantifiées / 55 s.a. recherchées

Comparaison des concentrations mesurées [C] et résiduelles calculées Crés



Les données de pratiques (enquêtes) ne sont pas de bons indicateurs de la contamination des sols / de ce à quoi sont exposés les organismes non-cibles

Volet 2 : *Screening des contaminations*



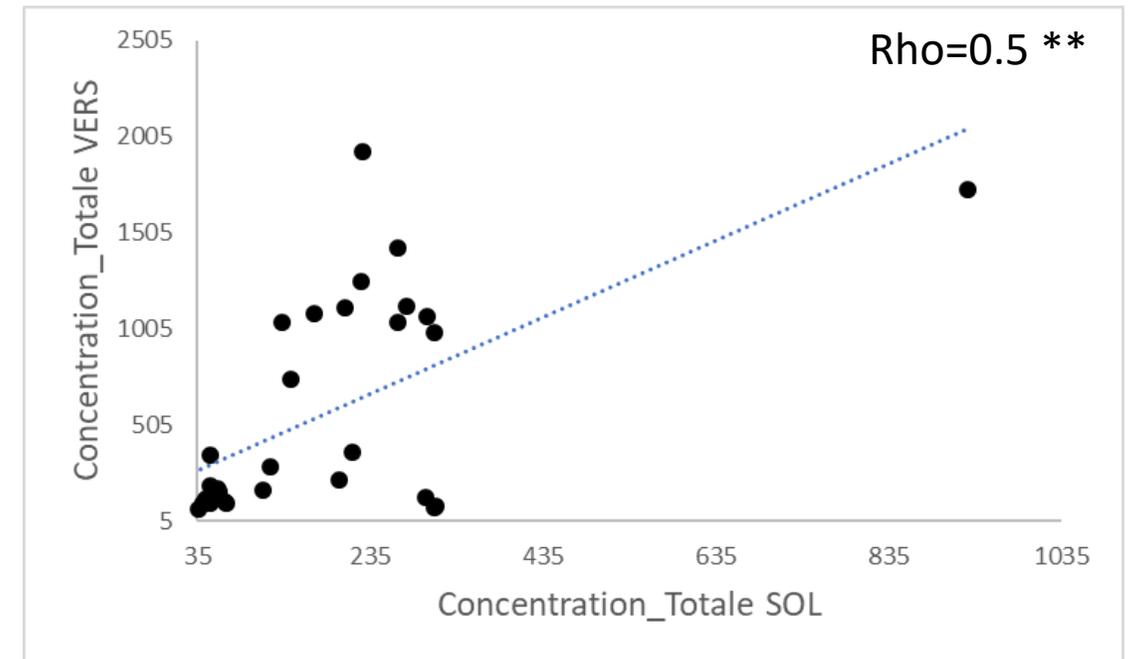
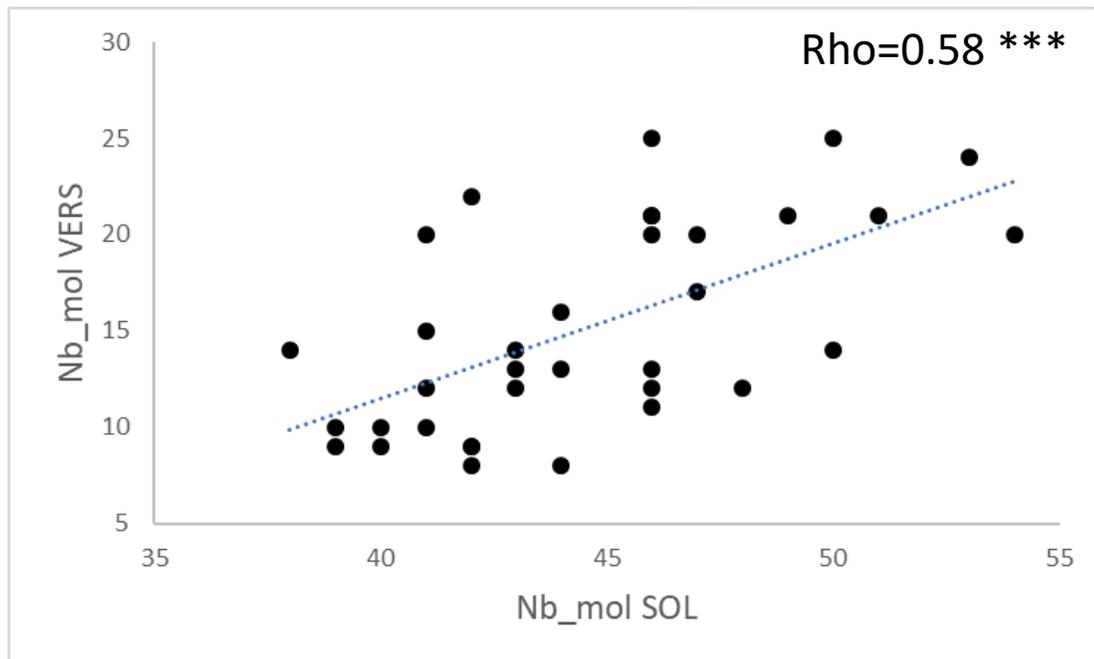
Quantification des pesticides



Quantification des pesticides

58 molécules quantifiées / 66 recherchées

42 molécules quantifiées / 66 recherchées



Volet 2 : Screening des contaminations



Boscalid (ng/g)

$$y = 0,5496x + 0,4727$$

$$R^2 = 0,6327$$

14,00
12,00
10,00
8,00
6,00



Fenpropidin (ng/g)

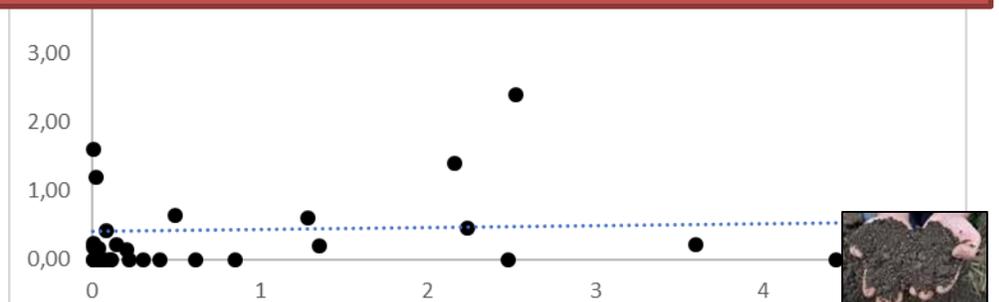
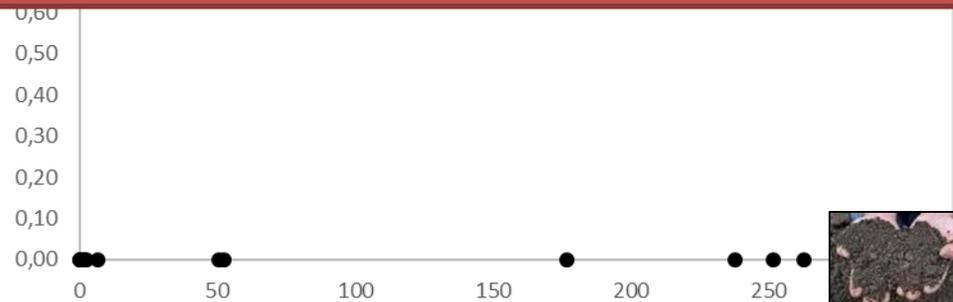
$$y = 15,855x + 0,2959$$

$$R^2 = 0,7336$$

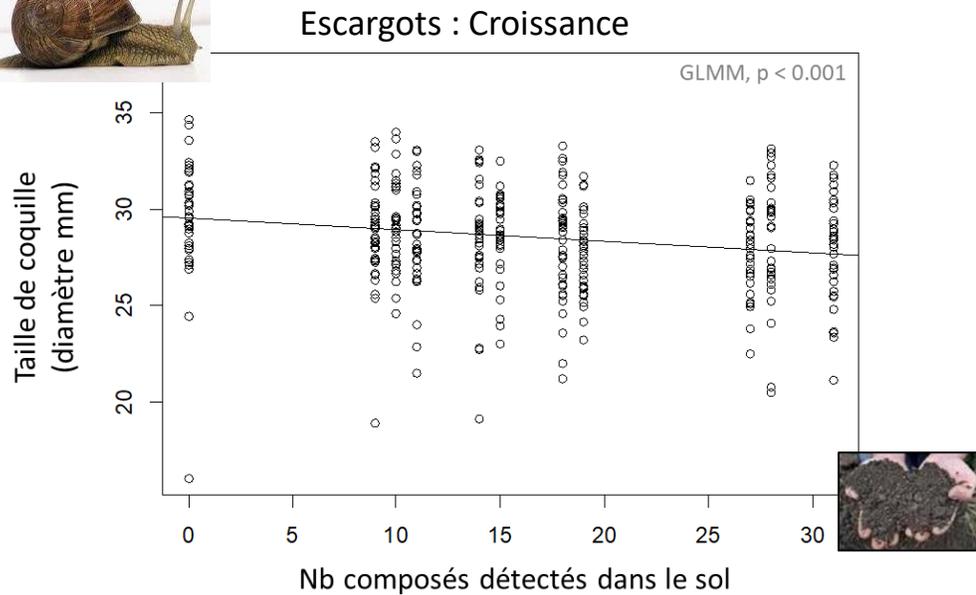
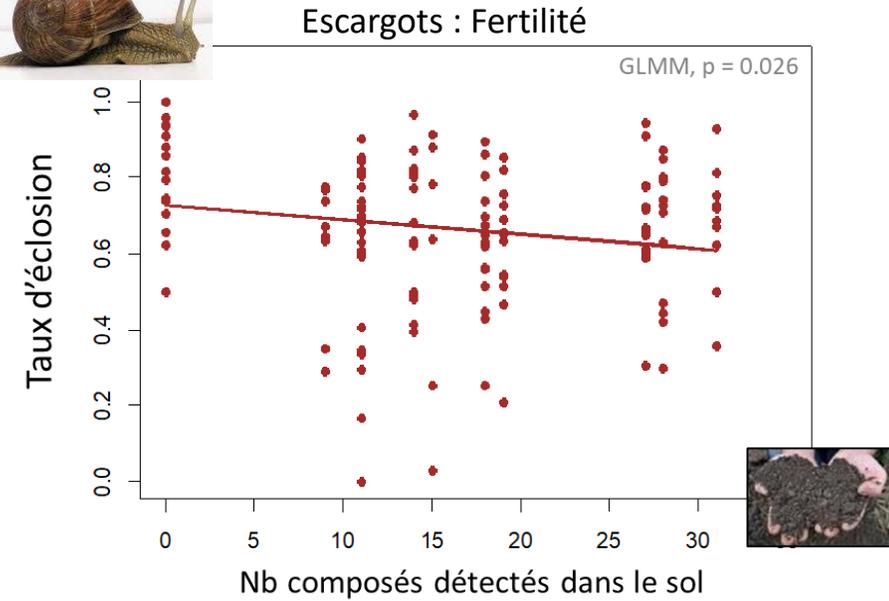
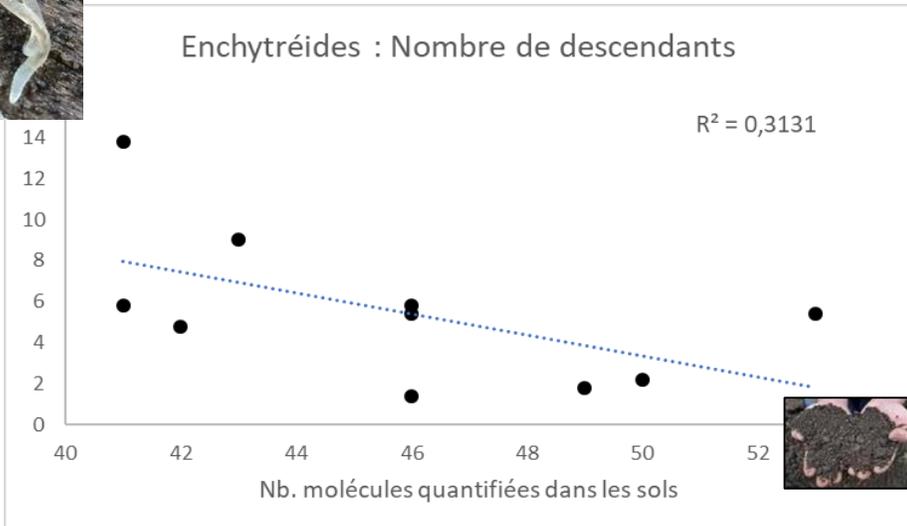
700,0
600,0
500,0
400,0
300,0

Les données de concentrations internes dans les vers de terre reflètent partiellement la contamination des sols (molécules auxquelles ils sont exposés dans le sol)

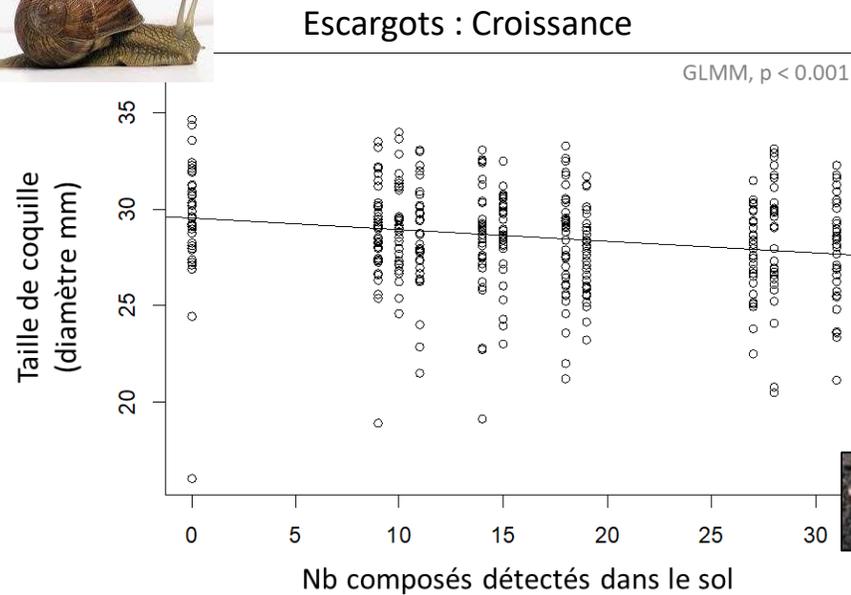
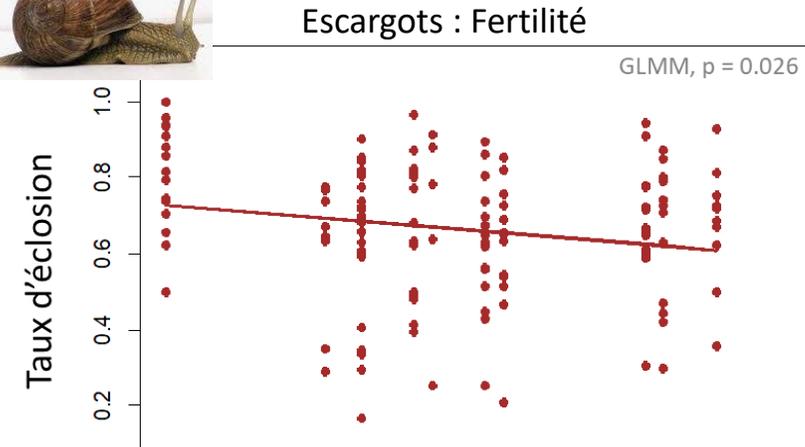
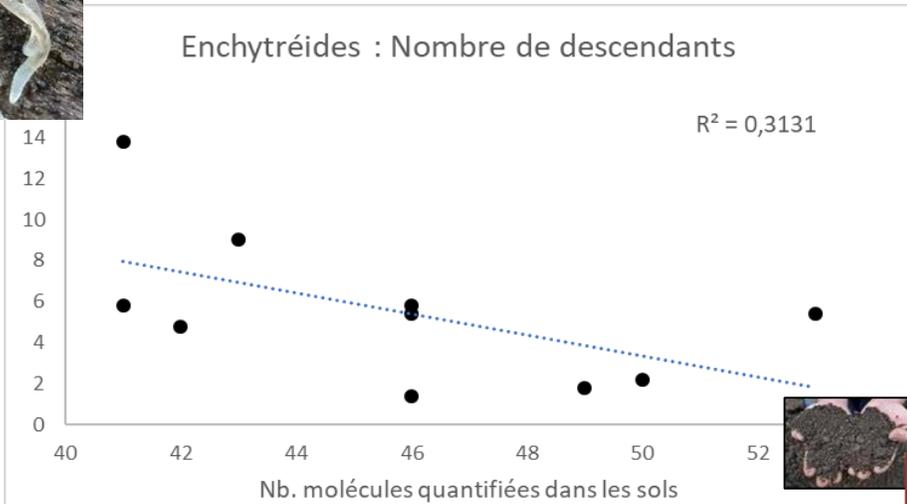
Bioindicateur d'exposition pertinent pour certaines molécules, moins pour d'autres



Volet 3 : Bioaccumulation et ecotoxicité



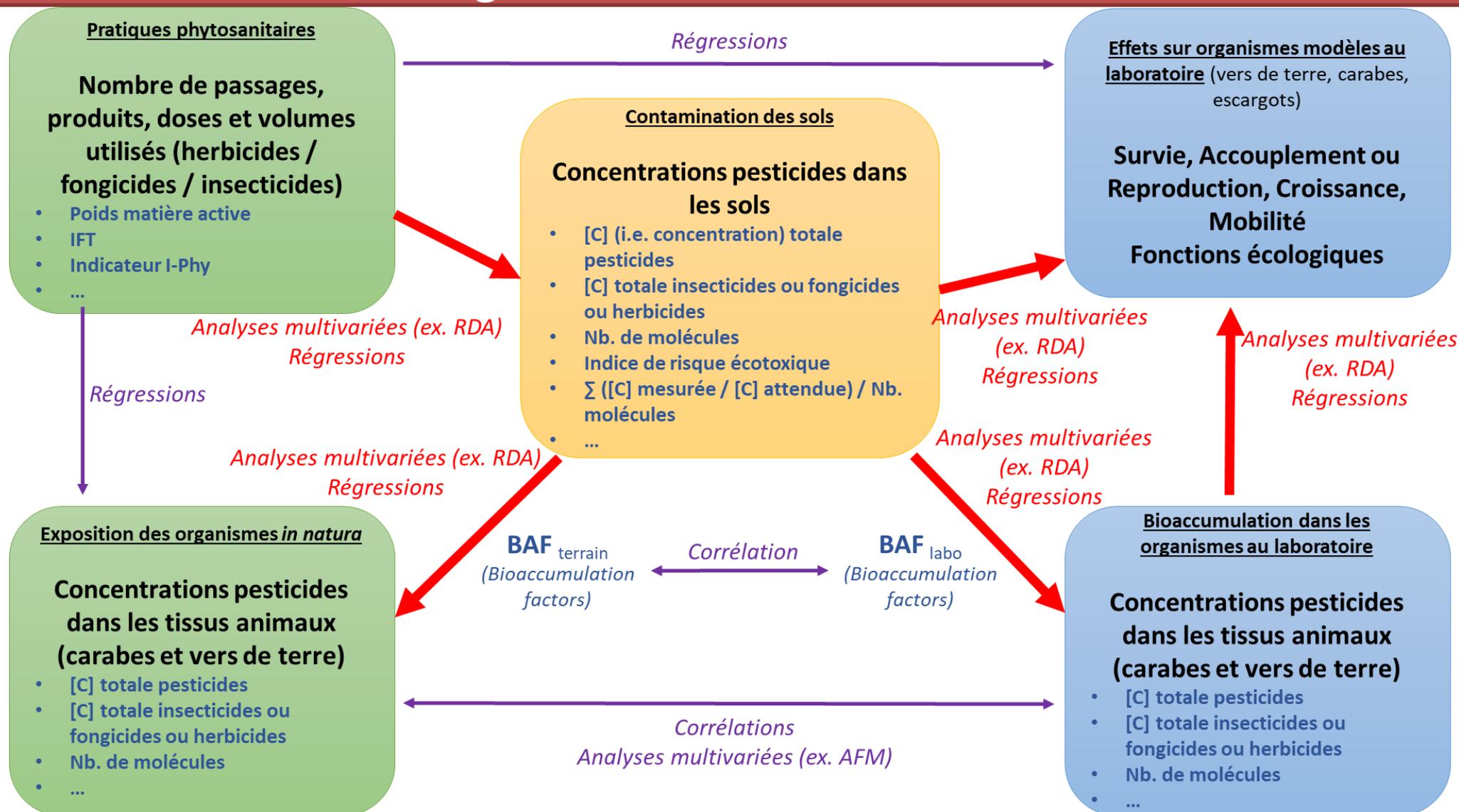
Volet 3 : Bioaccumulation et ecotoxicité



Des données de contamination des sols (ex. nb molécules détectées / quantifiées) pourraient être de bons indicateurs d'effets ecotoxicologiques sur certains organismes du sol

Indicateur (exposition + impact) pertinent ?

Identifier des (bio)indicateurs d'usage, d'impact ou d'exposition → permettant de renseigner sur l'écotoxicité des sols ???



ADEME



**AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**



Colloque IBOSS – Juin 2025

MERCI !

INRAE

la science pour la vie, l'humain, la terre

**UNIVERSITÉ
MARIE & LOUIS
PASTEUR**



Colette BERTRAND

*Sylvie Néliu, Marjolaine Deschamps, Antoine Bamière, Véronique Etiévant, Lucie Martin,
Ghislaine Delarue, Valentin Serre, Nathalie Bernet
Céline Pelosi*

Clémentine Fritsch, Michaël Coeurdassier, Frédéric Gimbert, Dominique Rieffel

Gaëlle Danièle, Florent Lafay, Emmanuelle Vulliet

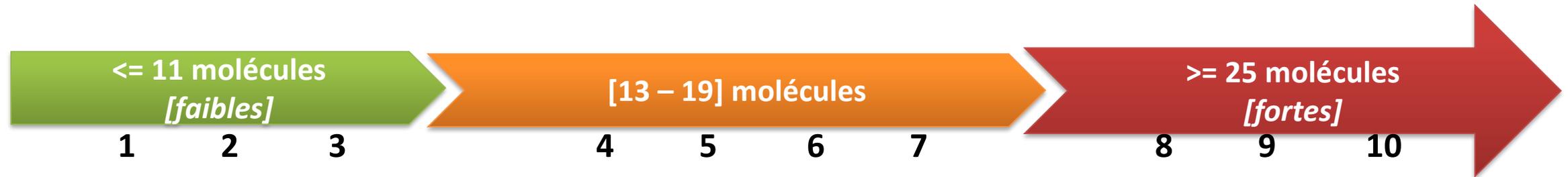
Julien Tournebize, Arnaud Blanchouin, Hocine Henine



Volet 3 : Bioaccumulation et écotoxicité

SELECTION DE 10 SOLS PRELEVES SUR LE TERRAIN

Gradient de contamination par les pesticides / Propriétés physico-chimiques similaires



	Parigiles	Plimons	Psables	NTotal	MO	pH	PolSen	CECeff	Co	Cu	Ni	Zn	Pb	Al	Fe
	%	%	%	g/kg	g/kg		g/kg	cmol+/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	g/100g	g/100g
1	14.8	81.7	3.5	1.14	19.1	6.65	0.02	10.66	8.49	10.03	18.90	45.64	17.65	3.92	2.02
2	20.6	72.9	6.5	1.11	18.4	6.76	0.04	13.24	10.97	11.95	22.53	53.58	19.22	4.43	2.49
3	16.5	78.8	4.7	1.06	18.5	7.41	0.03	11.33	12.12	9.68	16.94	43.72	18.69	3.93	2.36
4	18.3	77.1	4.5	1.25	19.9	7.63	0.03	13.79	10.03	12.99	20.18	47.06	18.75	4.02	1.94
5	21.1	75.9	3	1.29	21	7.4	0.03	13.62	10.25	9.56	22.03	53.32	19.93	4.32	2.29
6	15.1	75.2	9.7	0.95	15.4	7.21	0.03	10.70	8.67	9.58	15.48	43.00	18.37	3.88	1.96
7	18.4	72.7	8.8	1.32	21.9	6.93	0.04	11.72	8.42	12.21	18.35	51.79	18.14	3.85	1.92
8	19.5	74.8	5.4	1.23	20.6	7.63	0.05	13.85	7.58	11.94	17.99	54.25	19.33	4.26	2.08
9	16.6	72.6	10.8	1.02	16.4	6.97	0.04	11.65	9.16	9.90	19.35	46.20	18.77	3.89	1.91
10	19.2	77.1	3.6	1.33	23.8	7.02	0.05	12.88	8.02	12.30	19.88	53.67	20.87	4.03	1.99

Programme scientifique et technique – Volet 3

Bioaccumulation et écotoxicité

SELECTION DE 10 SOLS PRELEVES SUR LE TERRAIN

<= 11 molécules
[faibles]

Classe	AB_AC	NbMol Det	NbMol +++	Atra zine	Azoxy strobin	Bosca lid	Carben dazim	Chlorto luron	Epoxico nazole	Fenpro pidin	Flurta mone	Flusila zole	Imida clopid	Metha benzthi azuron	Meto lachlor	Pirimi carb	Prosul focarb	Diflufe nican	Fenobu carb	Perme thrin
				<i>H</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
1	AB	9	0			+	+		+			+	+	+	++	++		+		
2	AB	10	0			+	+	++	+	++	+	+		+			++		+	+
3	AB	11	0	++	++	++	+		+				+	+	+	+	++	+		

Programme scientifique et technique – Volet 3

Bioaccumulation et écotoxicité

SELECTION DE 10 SOLS PRELEVES SUR LE TERRAIN

**>= 25 molécules
[fortes]**

Classe	AB_AC	NbMo IDet	NbMol +++	Atra zine	Atrazine desethyl	Azoxy strobin	Bosca lid	Carben dazim	Chlori dazon	Cloma zone	Clothia nidine	Cyproco nazole	Dimethe namid	Epoxico nazole
				<i>H</i>	<i>Met</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>F</i>
8	AC	27	16	+++		++	+++	+	++	+++		++		+++
9	AC	28	16	++	+++	+++	++	++	++	+++	+++	++	+++	+
10	AC	31	13	+++		++	++	+	+++	+++	+++	++		+

Classe	Fenoxycarb	Fenpro pidin	Flufenacet	Flurtamone	Flusilazole	Imidacloprid	Mesosulfuron methyl	Mesotrione	Metamitron	Metconazole	Methabenzthiazuron	Metolachlor	Metsulfuron methyl
	<i>I</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>
8		+++	++	+++	+++	++			+++	+++	++		+
9		+++	+++		+	++	+++	++	+++			+++	+
10	++	+	++		++	+++			+++	+++	+++		+

Classe	Napropamide	Pendimethalin	Phenmedipham	Pirimicarb	Propiconazole	Prosulfocarb	Simazine	Tebuconazole	Terbutylazine	Tetraconazole	Thiamethoxam	Diflufenican
	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>H</i>
8		+++	+	+++	+++	+++	+++	+++		+++		++
9					++	+++		++	+++	+++	+++	+++
10	+++	++	+	++	+++	++	+++	+++			+++	++



Volet 3 : Bioaccumulation et écotoxicité



Cantareus aspersus
(ex *Helix aspersa*)
Escargot petit-gris

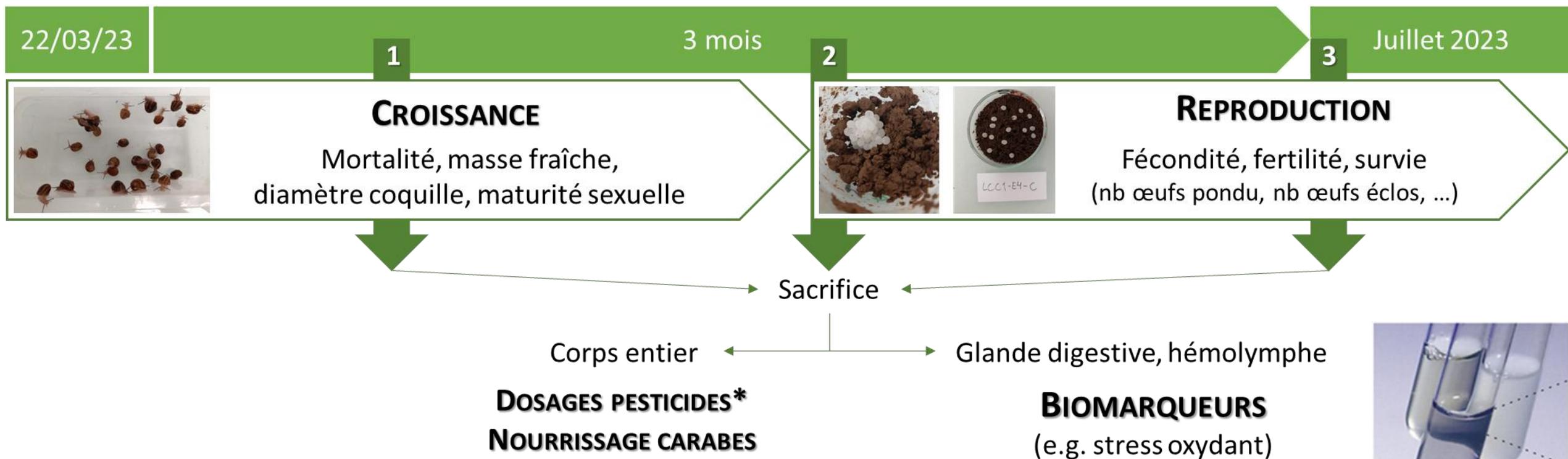
ISO Guideline 15952 (2018). Soil Quality – Effects of Pollutants on Juvenile Land Snails (Helicidae) – Determination of the Effects on Growth by Soil Contamination.



10 sols agricoles
1 sol contrôle (LUFA)
3 réplicats/modalité = 33 cosmes
Nourriture : farine élevage *ad libitum*



Volet 3 : Bioaccumulation et écotoxicité



*sous réserve confirmation collaboration et développement méthodes + acquisition financement



Volet 3 : Bioaccumulation et écotoxicité



Aporrectodea caliginosa

Allolobophora chlorotica

Enchytraeus albidus



- 10 sols agricoles
- 1 sol témoin (LUFA)
- 3 répliqués/sol pour les vers de terre = 33 cosmes de 650 g
- 5 répliqués/sol pour les enchytréides = 55 cosmes de 40 g



10 enchys adultes



6 chloro + 4 cali adultes

Volet 3 : Bioaccumulation et écotoxicité



- Incubation à 15°C pendant 6 semaines
- Enchytréides adultes retirés à 3 semaines d'incubation

BIOMASSE

- Pesée des vers de terre en début et fin d'expérience



REPRODUCTION

- Survie
- Nombre de cocons de vers de terre
- Nombre d'enchytréides juvéniles

DOSAGE DES PESTICIDES

- Sol : 100 g de chaque sol
- Vers de terre : 3 A. *chlorotica* et 2 A. *caliginosa* sacrifiés par cosme

ACTIVITE ENZYMATIQUE

- Vers de terre : 3 A. *chlorotica* et 2 A. *caliginosa* par cosme



Volet 3 : Bioaccumulation et écotoxicité

10 sols agricoles + 1 sol contrôle (LUFA)

3 réplicats/modalité = 33 cosmes

6 carabes par cosme (3 mâles et 3 femelles)

Nourriture: pomme + vers de farine

Incubation pendant 6 semaines à 20°C

Par modalité :

→ quantification des résidus dans 100g de sol en début et fin d'expérimentation

→ quantification des résidus dans pool de 12 carabes (4*3 cosmes) en fin d'expérimentation

CROISSANCE

Mortalité

Masse fraîche (pesée des individus en début et fin d'expérimentation)

REPRODUCTION

Nombre d'œufs pondus (mesuré 1 fois par semaine / 3 dernières semaines)
% éclosion des œufs

MOBILITE

Temps mis par les carabes pour se retourner lorsqu'on les mets sur le dos (mesuré une fois par semaine)

COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

En fin d'expérimentation, test de cafétéria pour deux carabes par cosme (1 mâle et 1 femelle)



Volet 3 : Bioaccumulation et écotoxicité

1 sol agricole formellement contaminé
+ 1 sol témoin (LUFA)

12 cosmes

12 cosmes

4 carabes par cosme (2 mâles et 2 femelles)

→ Incubation pendant 4 semaines à 20°C

→ Par modalité : Quantification des résidus dans les carabes en fin d'expérimentation

