



Acquis du projet CHAAMS au sujet du diagnostic et des processus qui contrôlent la contamination des eaux superficielles par les pesticides dans le pluvial Tunisien.

Issu en particulier des travaux de
these de Ghada Dahmeni
Dr. Hanène Chaabane (INAT)
Dr. Olivier Grunberger (IRD,LISAH)

Appui technique :
Manon Lagacherie (LISAH)
Radhouane Hamdi (LISAH)
Sandrine Negro (LISAH)

Plan

- Les pesticides au Nord et au Sud
- Le diagnostic de la contamination dans le pluvial Tunisien
- Etude du mécanismes régulant le devenir du glyphosate et de l'Ampa dans les eaux de surface



Les pesticides au Nord et Au sud: Le diagnostic

. Au nord

- France : 2,35 kg/ha
- 2590 points de surveillance, 400 substances actives, détectées/670 recherchées
- Pollution de 92% des points de mesure (Ministère français de l'écologie, 2013)
-

. Au sud

- Tunisie : 0,714 kg/ha
- Très peu d'études scientifiques publiées
- Absence de surveillance de l'état phytosanitaire des eaux de surface en Tunisie
- Pollution détectée à Bizerte sur quelques substances (vient des océanographes cotiers).

.

Les pesticides au Nord et Au sud: Le débat

. Au nord

- Il faut réduire la consommation et la pollution des eaux par les pesticides
- La recherche doit accompagner le mouvement de réduction de la pollution par les pesticides.
- Le traitement secondaire des eaux usées est généralisé,
 - mais ne contraint pas tous les pesticides
- La salinité n'est pas une contrainte forte sur la qualité des eaux
- Les capacités analytiques de détection des pesticides dans l'eau sont considérables en qualités et quantités.
- La continuité des écoulements est favorable à la dispersion des pesticides



Au sud

- Il faut sécuriser la production agricole
- L'usage de pesticides serait faible (petites exploitations)
- Recherche centrée sur les quantités prioritaires
- Eaux usées peu traitées :
 - préoccupations au sujet des pollutions biologiques et les métaux.
- La salinité est une contrainte forte sur les eaux
- Les capacités analytiques de détection des pesticides dans l'eau sont réduites et faibles en nombre: la priorité est à la détection dans les aliments
- L'intermittence des écoulements protégerait les eaux de la dispersion des pesticides

Le diagnostic de contamination par les pesticides au sud: Quelles méthodes et quelles cibles ?

. Cibles :

- . Systèmes irrigués en Tunisie :
 - . De nombreux produits phytosanitaires répandus fréquemment sur de petites surfaces (= Europe ?)

- . Ecoulements :

- . « Permanents »
 - . Verticaux

- . Systèmes pluviaux en Tunisie

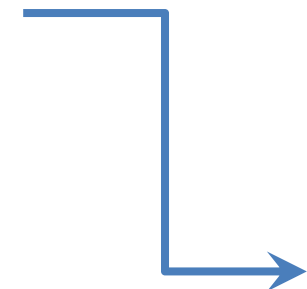
- . Moins de traitements, moins de produits différents, **mais sur de très grandes surfaces**

- . Ecoulements

- . « Épisodiques »
 - . Latéraux

. Méthodes :

- . Connaître les usages des substances:
 - . Système commercial (douanes)
 - . Cadre légal
 - . Enquêtes auprès des agriculteurs
- . Connaître les substances retrouvées dans l'eau
 - . Suivis des écoulements (Débits, concentrations)
 - . Analyse des masses d'eau



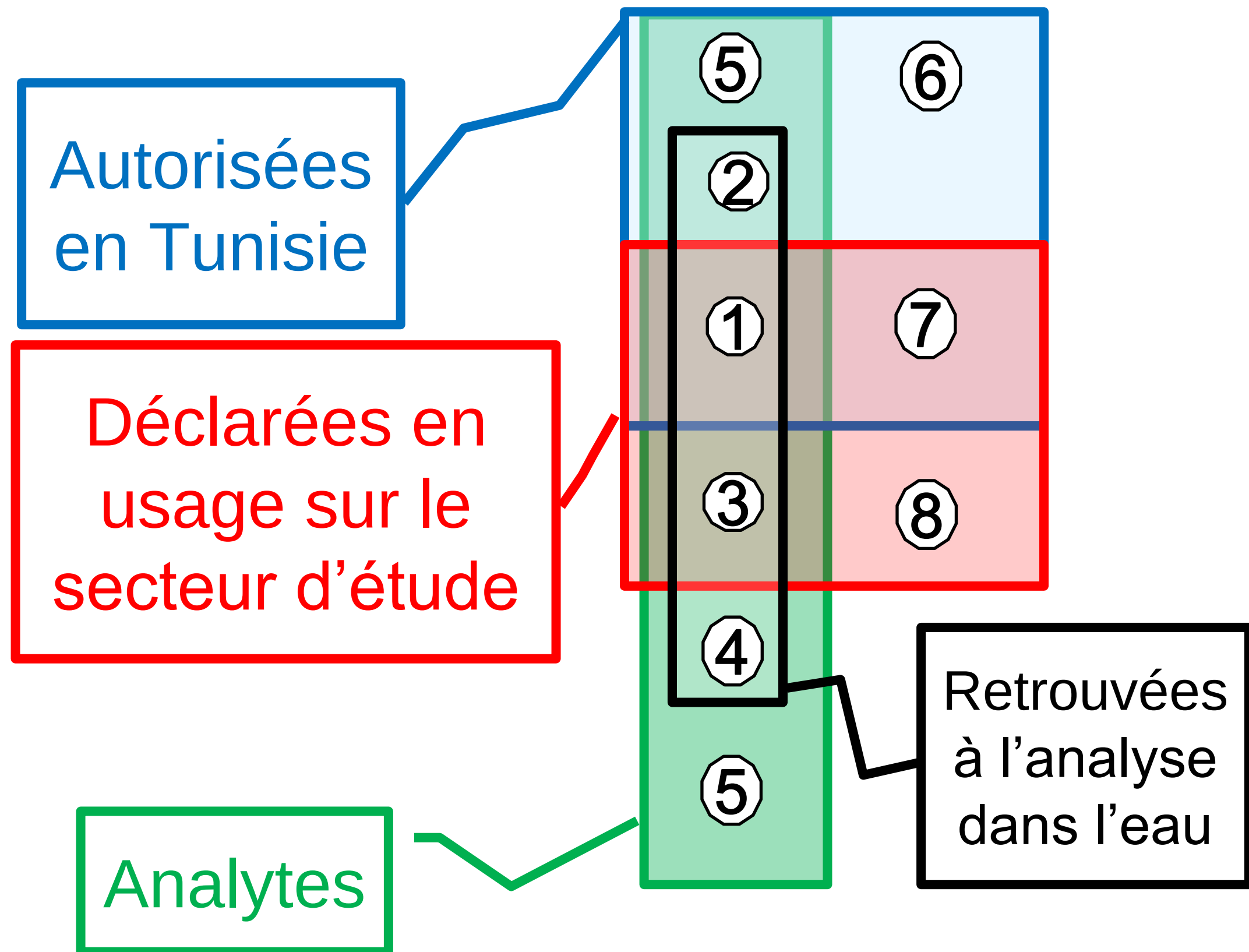
Diagnostic de contamination aux pesticides

Substances détectées

- 1=> Conformité usage-contamination
- 2=> Inefficiency des enquêtes pour déclaration usage légal
- 3=> Efficience des enquêtes pour déclaration d'usage illégal et détection
- 4=> Détection d'usage illégal ou métabolites ou de substances résilientes d'usages passés.

Substances non-détectées

- 7&8=> inefficiency de la détection ou absence de devenir dans l'eau



Exemple à Bizerte (BV de 86 km²)

Number of active ingredients and metabolites	Non authorized in Tunisia			Authorized in Tunisia			Totals
	Analyzed		Not analyzed	Analyzed		Not analyzed	
	<QL	>QL		<QL	>QL		
Met in farmers Local surveys	2	1	1	18	10	6	38
Absent in farmers local surveys	306	6*	-	112	14	72	438
Total analyzed in water	308	7	0	130	24	0	469
Total	315		1	154		78	548

*Dispatch of the of active ingredients and metabolites considered crossing i) the authorized list of pesticides for agricultural use in Tunisia, ii) the local surveys listings of pesticide active ingredients, iii) the analysis parameter list, iv) the quantified ingredients in water. <QL =Always inferior to quantification limit, >QL quantified once or more. **
With 2 metabolites (AMPA, DIA),

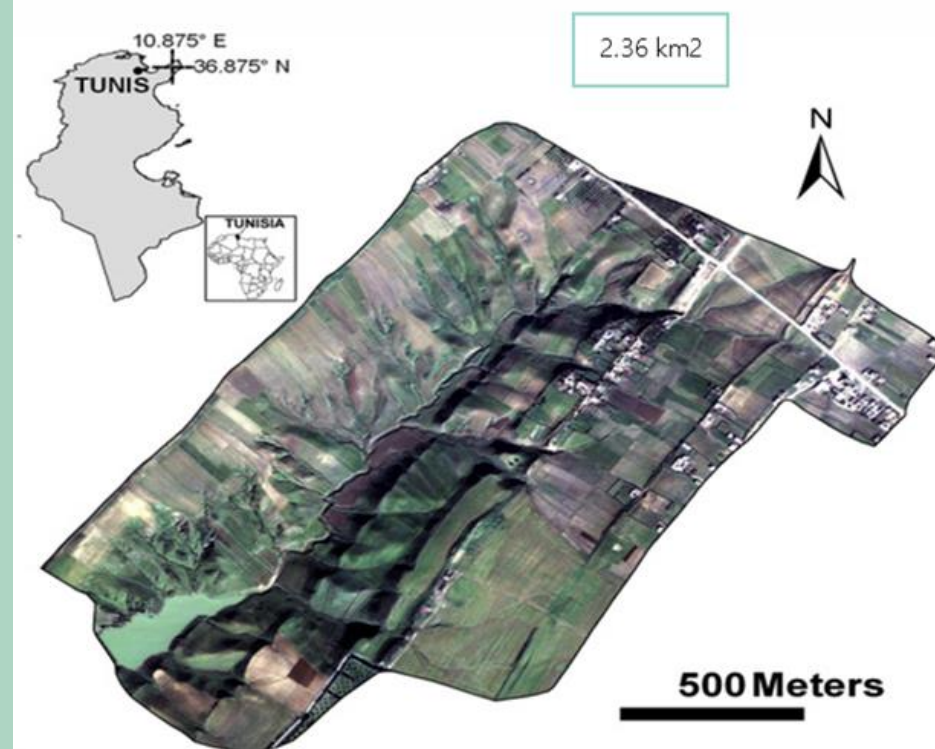
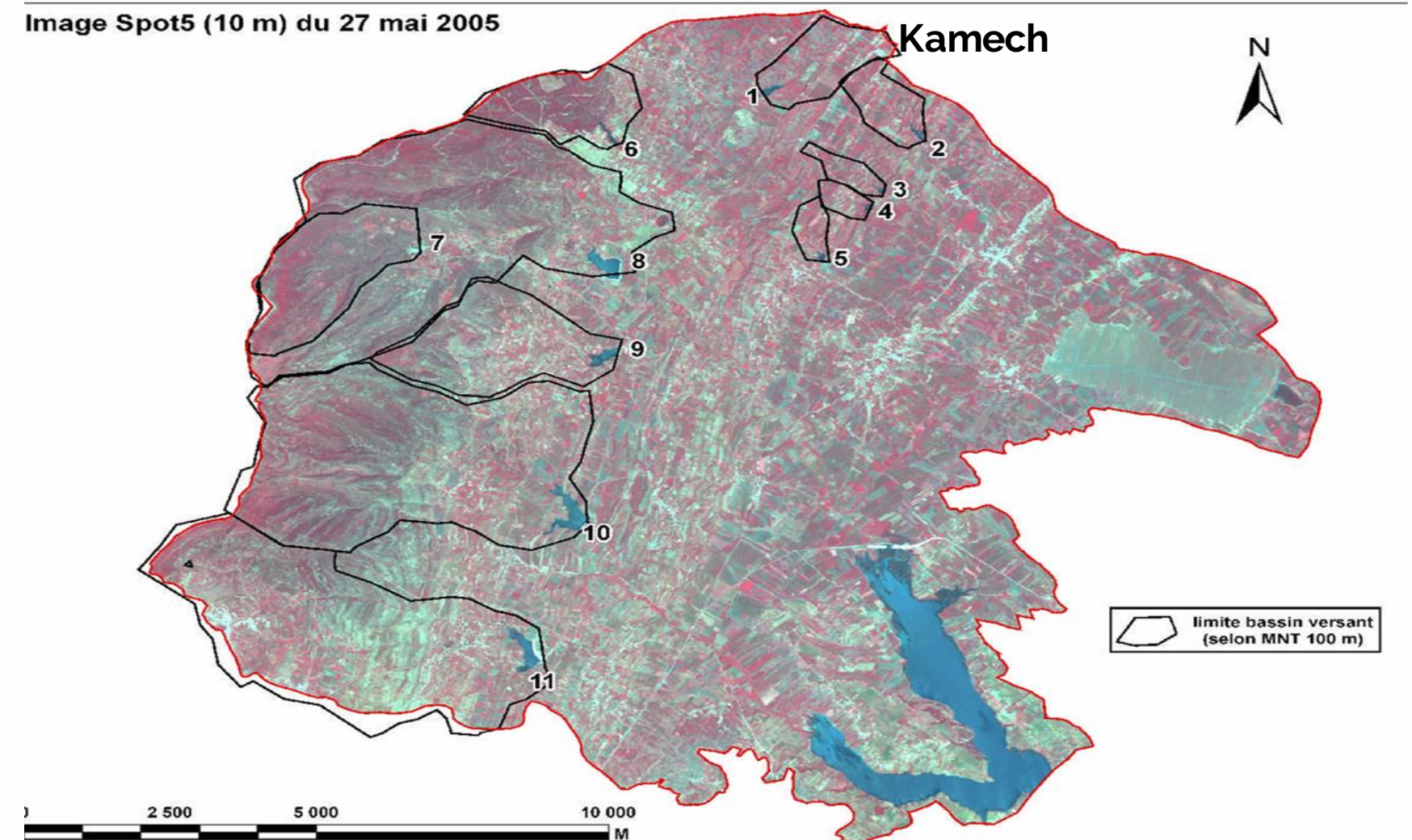
Présentation du site d'étude : bassin versant de Lebna & Kamech

Superficie : 210 km²

Dominance de la culture pluviale + végétation arborée

11 sous-BV en amont du barrage Lebna

Image Spot5 (10 m) du 27 mai 2005

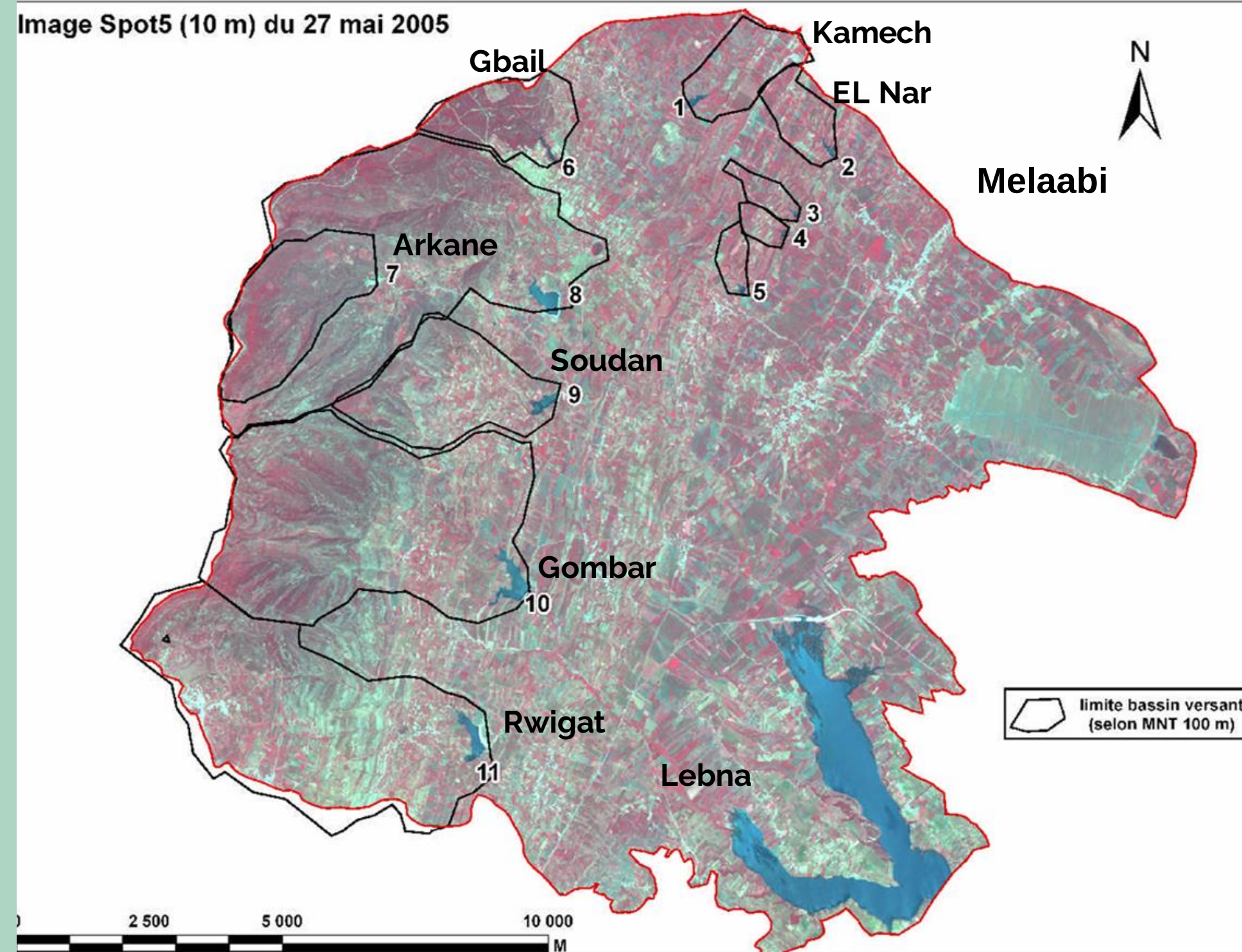


Diagnostic de la qualité des eaux de surface au Lebna : échantillonnage multi-résidus des lacs collinaires

Enquête sur les pratiques phytosanitaires dans l'Observatoire d'OMERE (Molénat et al., 2018) au niveau du bassin versant de Kamech

Enquêtes sur les pratiques phytosanitaires dans le bassin versant de Lebna (220km²) à proximité de 8 lacs de retenue collinaire (2020 et 2021)

Echantillonnage sur le bassin de Lebna et les sous bassins adjacents à Kamech



Enquête sur le bassin versant de Lebna 2019-2021

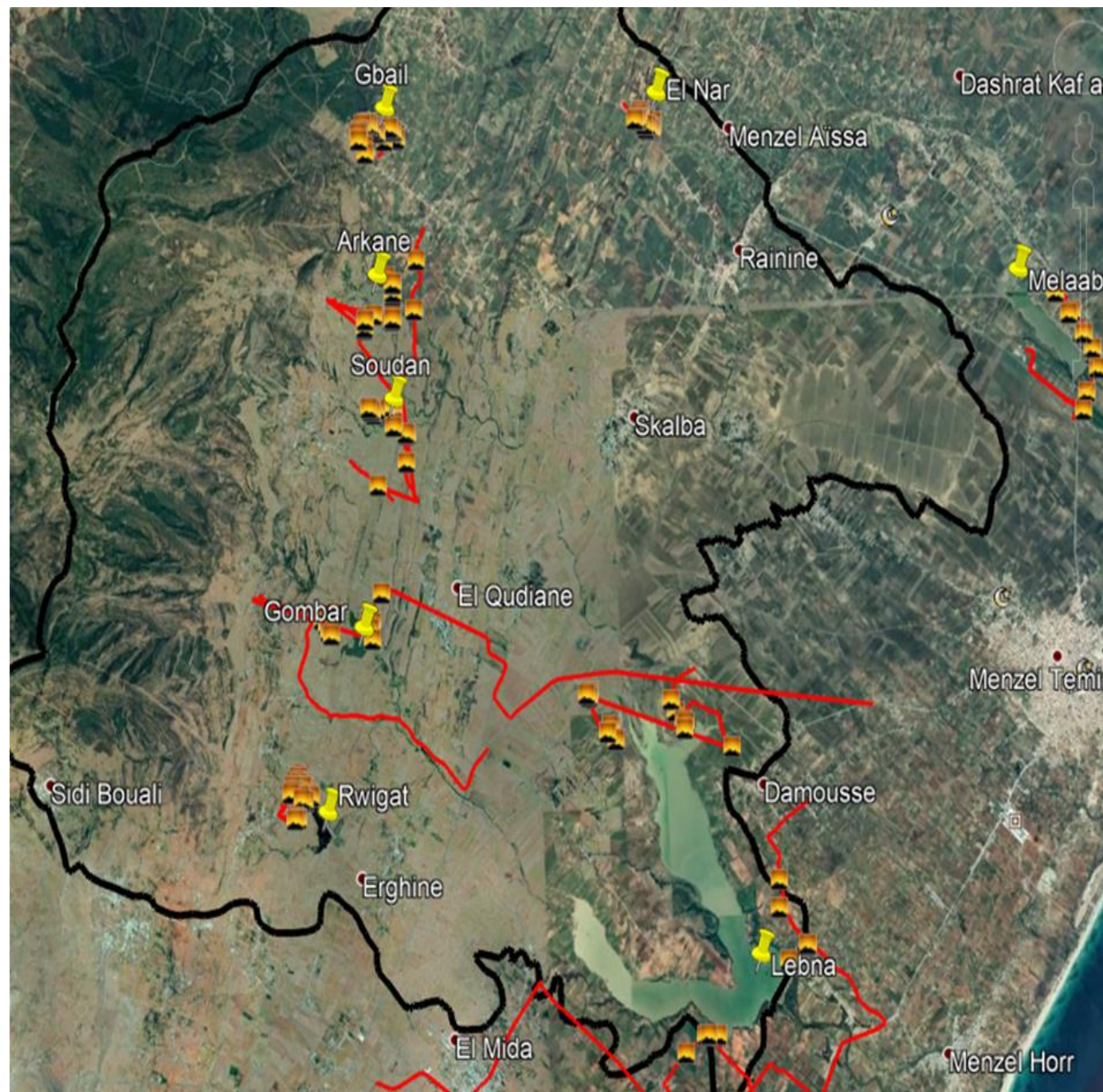
2019/2020

Période : fin août 2020

80 agriculteurs

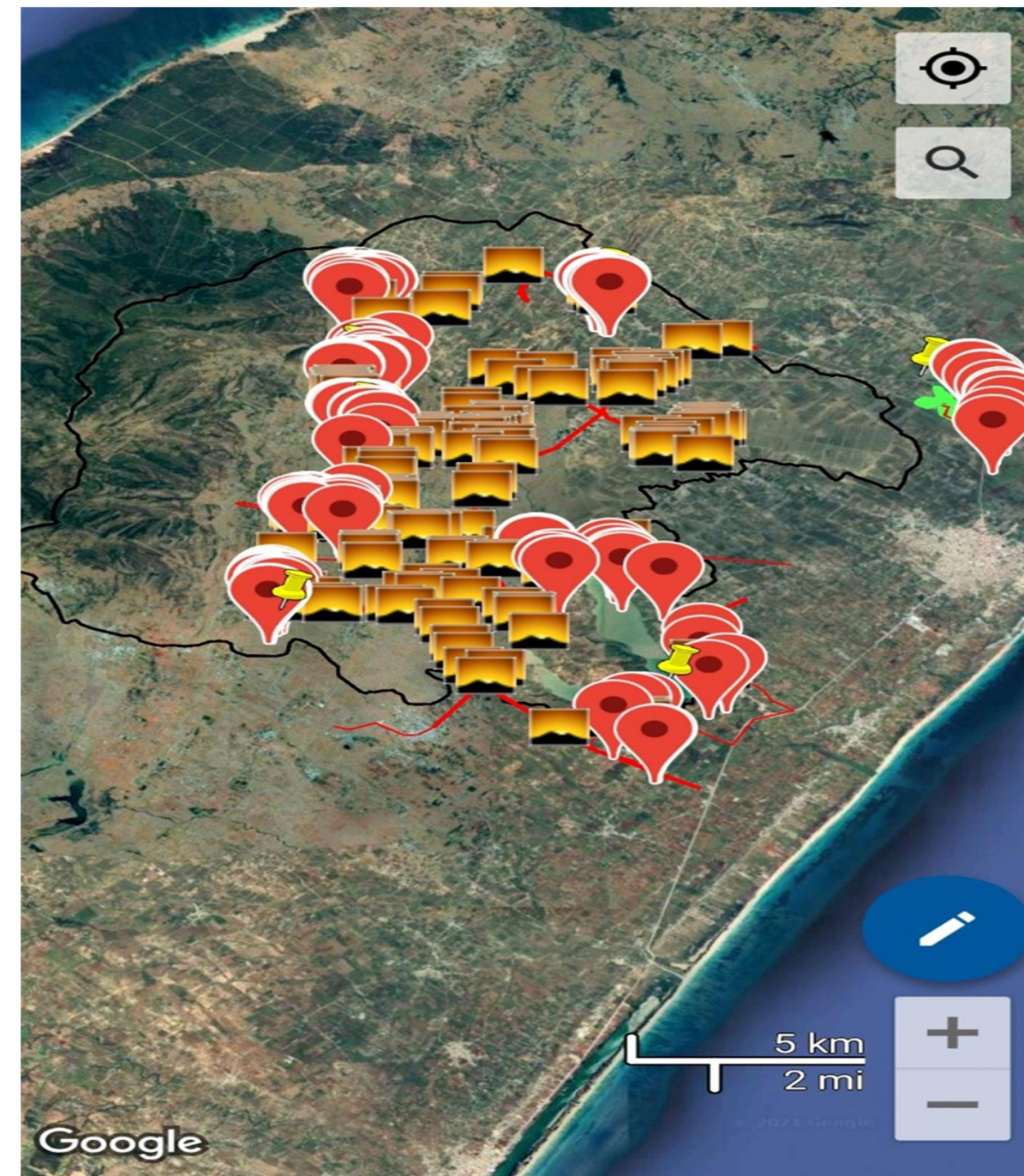
100 parcelles

Superficie enquêtée 230 ha



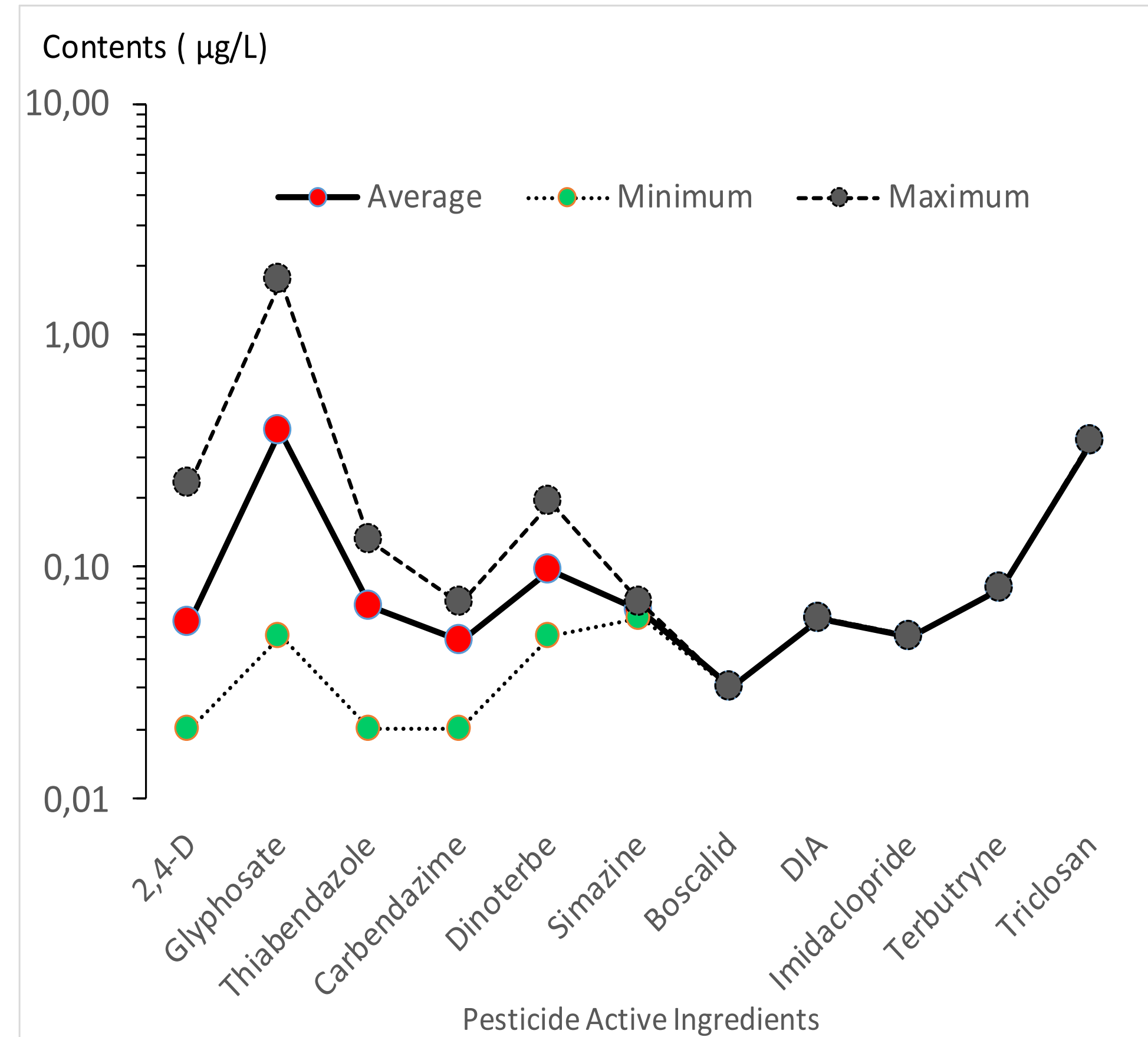
2020/2021

Période : début août 2021
150 agriculteurs
Superficie
enquêtée >400 ha



Les analytes dans les lacs du Lebna.

- . 44 quantifications dans 27 échantillons
- . 17 molécules détectées
- . Teneur maximale : $1.73 \mu\text{g.L}^{-1}$ for glyphosate in Lebna Lake,
- . Moyenne des teneurs cumulées des échantillons $0.125 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 0.069$ (p=5%),



Confrontation
usages et
détections

Concerns	Active ingredients	Type	Number of water quantification in Wadis achieved			Quantified in Lakes	Number o ingredients recorded		Quantified in mediterranean water bodies
			Kamech 2018-19	Kamech 2019-20	Kamech 2020-21	9 Lebna Lakes	Kamech 2018-2019 Practices Surveys	Lebna 2018-2021 Practices Surveys	
Espected Contamination Quantified and Surveyed (PAI to monitor)	2,4D	H	12	8	7	18	5	66	Very Frequent
	Glyphosate +AMPA	H	6	4	9	9	23	10	Frequent
	tebuconazole	F			1			12	Rare
	Iodosulfuron	H			1		3	7	Absent
	Simazine +DIA	H			2	4	1	3	Very Frequent
	Mesosulfuron	H			2		3	1	Absent
	Chlorpyrifos	I	2					3	Very Frequent
	Azoxystrobin	F			1		1	1	Frequent
	Carbendazim	F				4		1	Very Frequent
	Imidacloprid	I	1			1		1	Frequent
	Boscalid	F				1		1	Frequent
Unexpected contamination Quantified in water but not surveyed (PAI to monitor)	Thiadendazole	F		5		5			Absent
	Acetamiprid	I			8				Absent
	Dicamba	H	4						Rare
	Thiametoxam	I			4				Absent
	Dinoterb	H				4			Absent
	DNOC	I		2					Absent
	Propamocarbe	F		1					Absent

Confrontation usages et détections des pesticides

- Les produits à r qui échappent à l'analyse.
- A surveiller
- Rarement dans l'eau s

Concerns	Active ingredients	Type	Number of water quantification in Wadis achieved			Quantified in Lakes		Number o ingredients recorded		Quantified in mediterranean water bodies
			Kamech 2018-19	Kamech 2019-20	Kamech 2020-21	9 Lebna Lakes		Kamech 2018-2019 Practices Surveys	Lebna 2018-2021 Practices Surveys	
Un-analyzed but frequently surveyed	Maneb	F							24	Un-analyzed
	Mefonoxam	F							8	Un-analyzed
	Flubendiamide	I							4	Un-analyzed
	Mancozebe	F						3	6	Un-analyzed
Recorded but unexepectadly not quantified	Metalaxil	F						2		Frequent
	Propiconazole	F						4		Frequent
	Cyproconazole	F						4		Frequent
Unprobable to quantifiy in water in this rainfed context	Deltamethrin	I						4	36	Absent
	Clethodim	H						7	10	Absent
	Chlorotholonil	F						4	12	Absent
	methomyl	I							4	Absent

Scenarii et facteurs d'évolution

La contamination future suivra l'évolution des couverts eux même dépendants du climat :

- Blé, fèves, pois, orge et avoines sont traités
- Fourrage, triticales, febnugrec, vesce ne sont pas traités

Taille des parcelles => pression phytosanitaires

Vers l'interdiction en Europe => explosion d'usage au sud ?

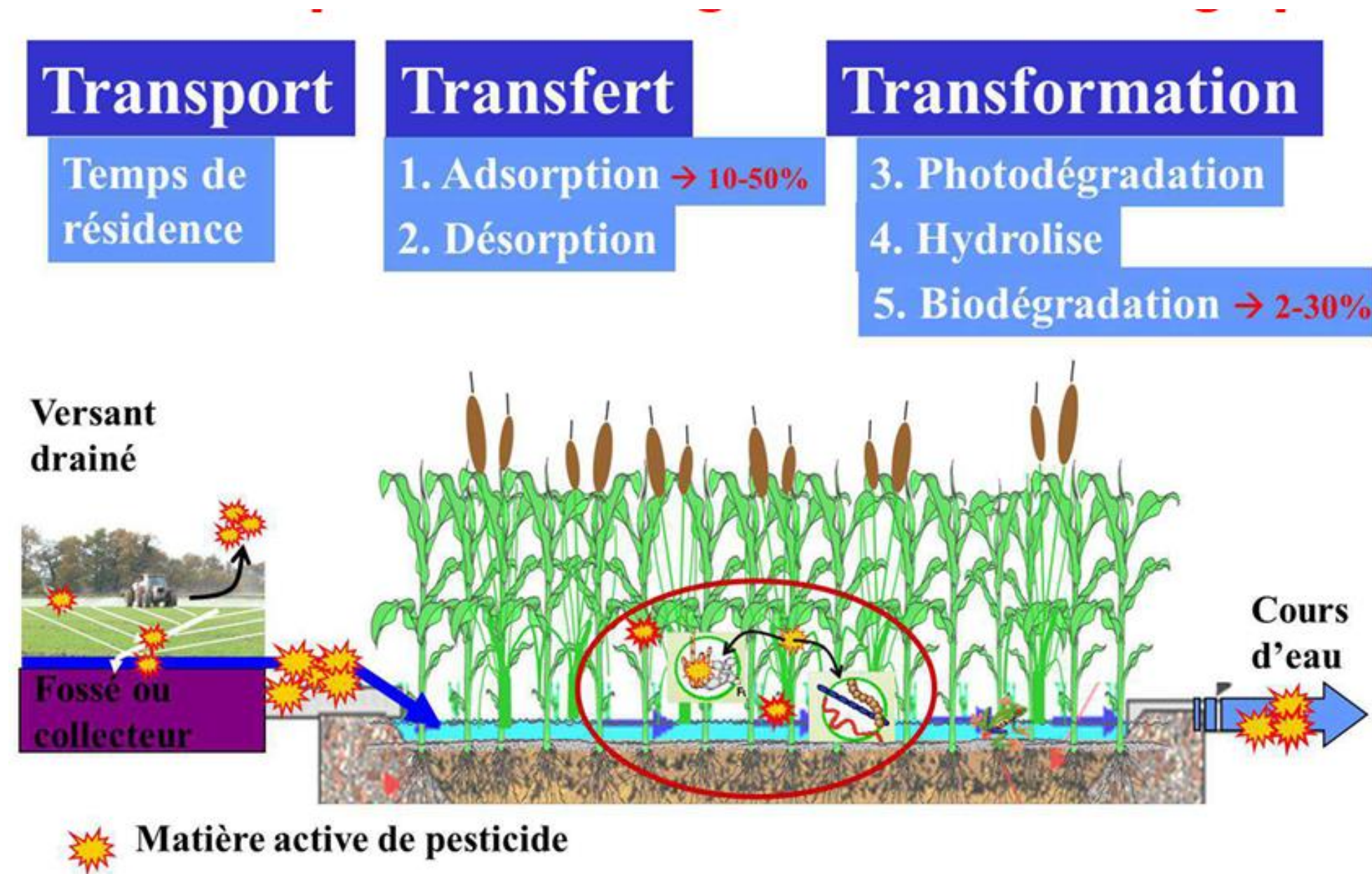
Recommandations

- 1-Attention aux augmentations futures de 2,4-D et de glyphosate !
- 2-Attention à l'effet cocktail : Prévisible (simazine, iodo and meso-sulfuron,) ou en surprenant (acetamiprid, thiabendazole, thiametoxam)
- 3-Exceptés 2,4-D et glyphosate : la signature particulière => la stratégie de surveillance doit s'adapter
- 3-Inclusion dans les programmes de surveillance de Iodo and Meso sulfuron, Thiabendazole, Acetamiprid, Tiametoxam, dinoterb DNOC,
- 4-Les Lacs collinaire sont de bons points de monitoring !
- 5-Vieilles molécules absentes: l'introduction tardive des pesticides dans le pluvial a préservé le milieu
- 6-Molécules interdites dans l'eau de surface attention à la contrebande
- 7-Petites exploitation => sous dosage des herbicides => attention aux résistances et pression accrue => contamination accrue.
- 8-Etudes sur le devenir des contaminants pour la mitigations présentes et futures.

Etude des mécanismes régulant le devenir du glyphosate et de l'Ampa dans les eaux de surface

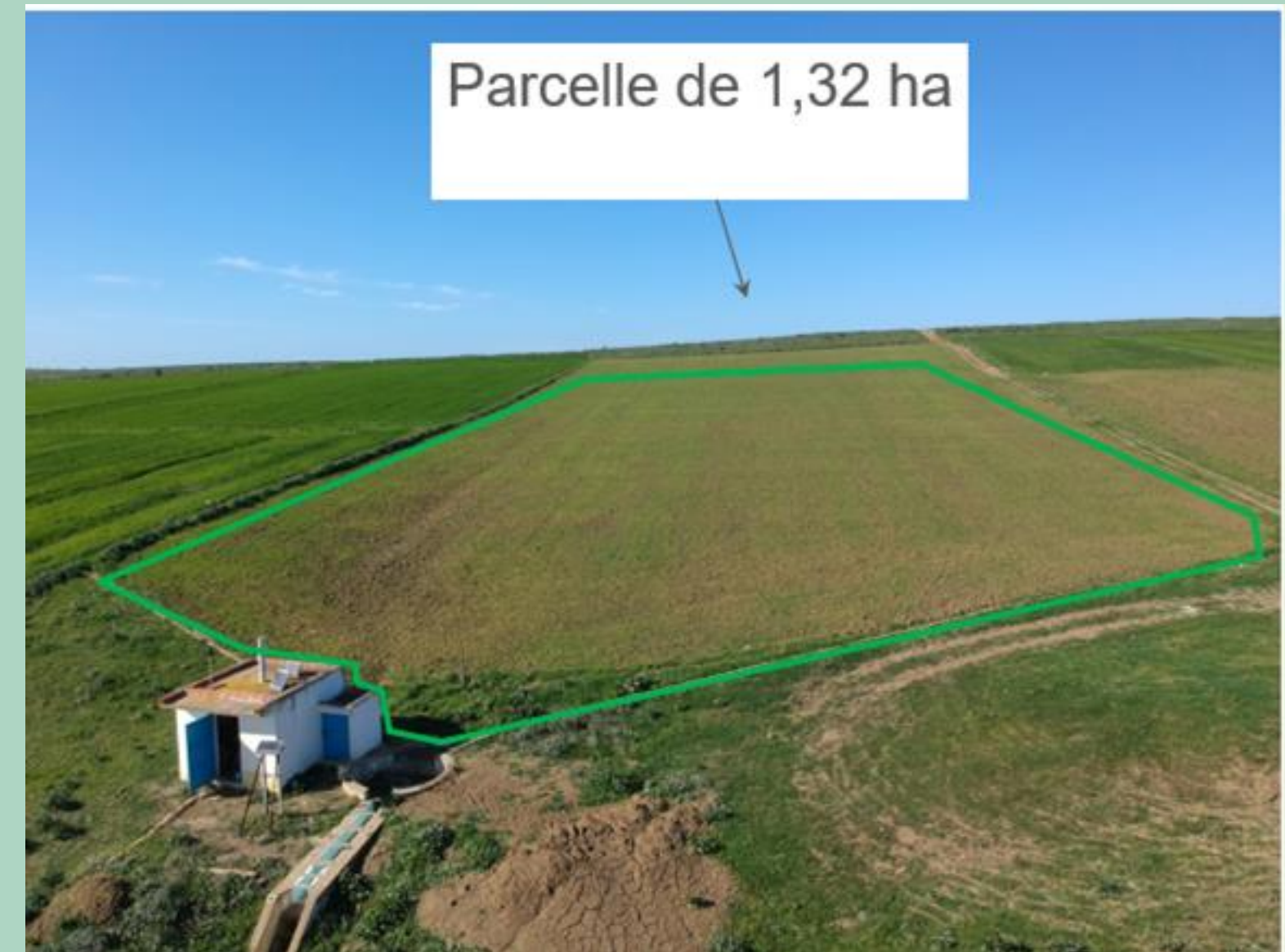
Méthodes :

- Suivis de terrain d'eau de surface
 - Eaux des lacs
 - Parcelle de 1,35 ha
 - Plots de 2 m² en régime naturel
- Simulation de pluie
 - Plot de 2 m² en régime contrôlé
- Coefficient de sorption/désorption sur les sols du Lebna
 - Essai en froid
 - Essai en chaud (¹⁴C)



Quantification du transfert du glyphosate à l'échelle de la parcelle

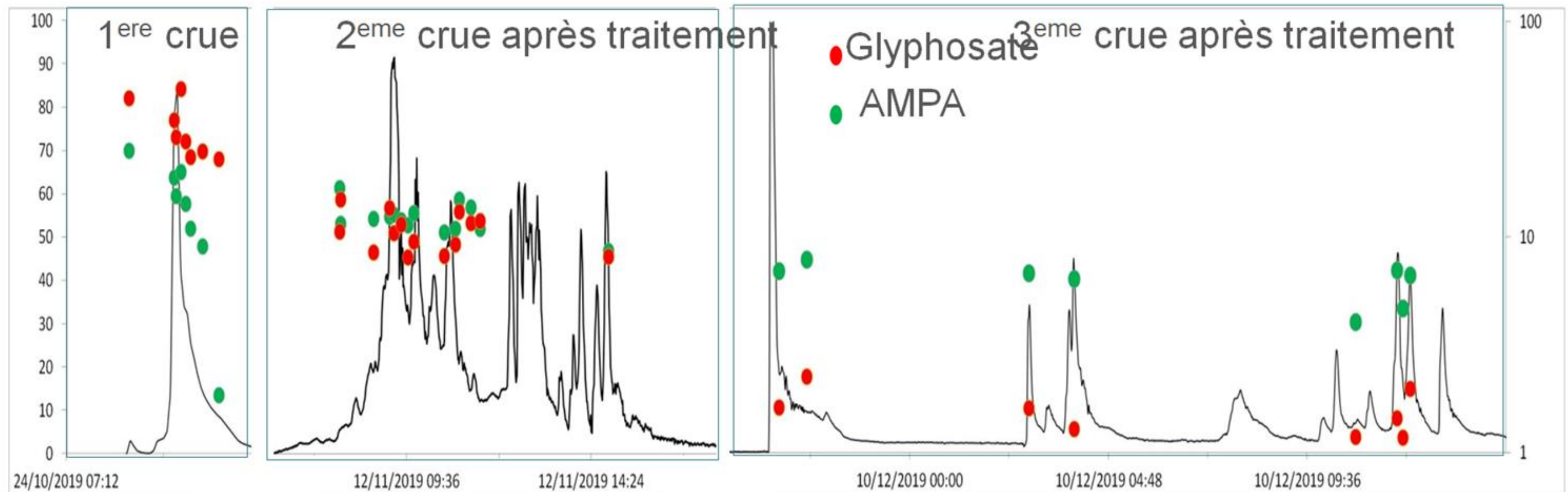
1. Traitement annuel de la parcelle au glyphosate : apport de la dose recommandée (12 l/ha)
2. Traitement effectué quand la réserve hydrique des sols est connue comme saturée
3. Culture installée : blé
4. Quantification du transfert du glyphosate à l'exutoire de la parcelle



Résultats de l'analyse du glyphosate et de l'AMPA 2019-2020

Débits
(l.s⁻¹)

Teneurs de Glyphosate
et d'AMPA (µg.l⁻¹)

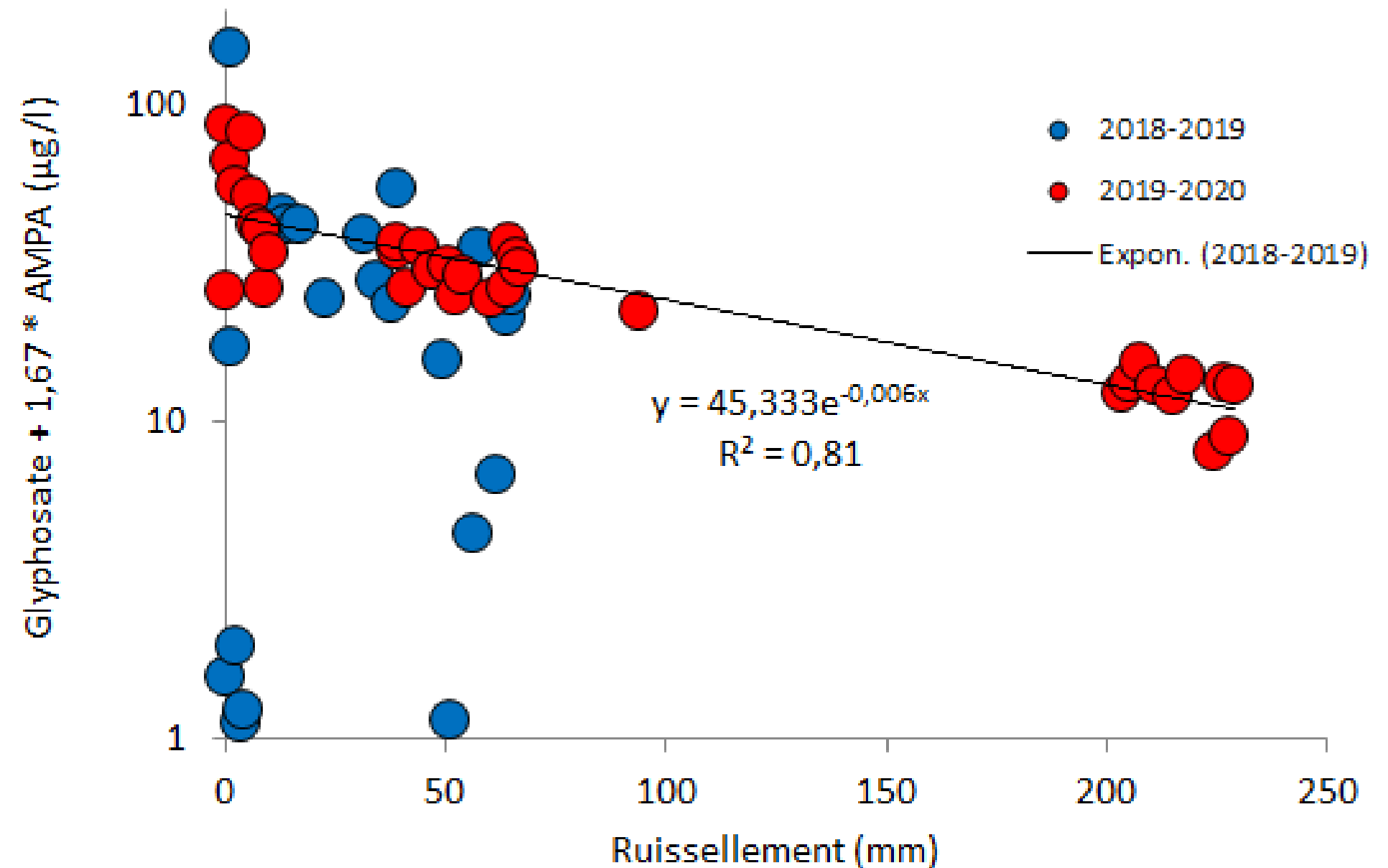


Relations concentrations et lames d'eau ruisselées depuis le traitement

* La décroissance progressive des concentrations au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la date du traitement

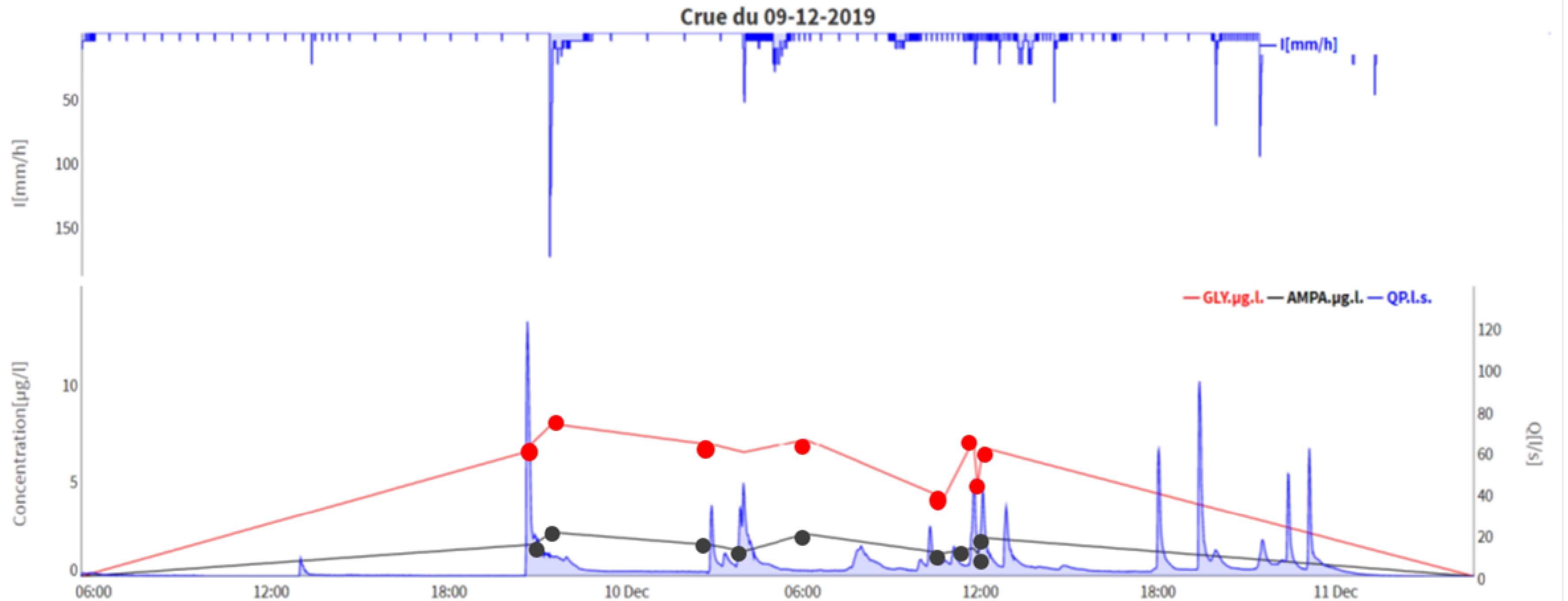
* Les sommes des concentrations en glyphosate et en AMPA diminuent avec le temps et le volume ruisselé. En 2019-2020 la somme du glyphosate et de l'AMPA diminue selon une loi en puissance $[Gly + 1.67 * AMPA] = 45.333e^{-0.006 * R}$

* L'AMPA prend le pas sur la molécule mère après 100 mm de ruissellement, après le traitement, les concentrations d'AMPA sont alors nettement supérieures aux concentrations de glyphosate.



Évolution de la somme des concentrations de Glyphosate et 1.67 * d'AMPA en fonction de la lame ruisselée après traitement. Les concentrations inférieures à 1 µg/L ne sont pas représentées. Lors du cycle 2018-2019 le ruissellement est limité à 69 mm.

Interpolation des résultats des échantillons analysés



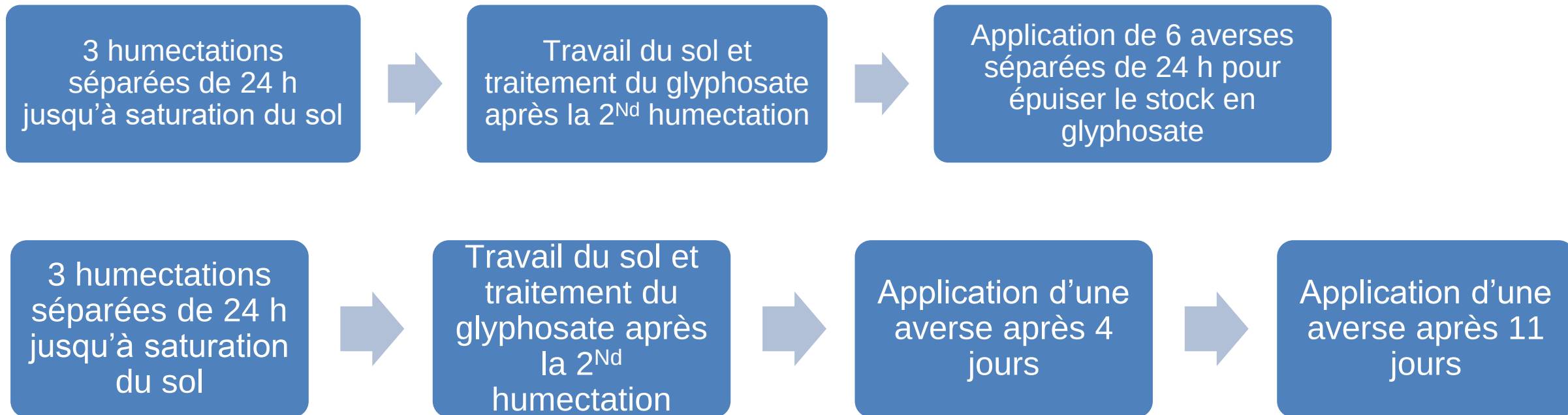
Bilan du flux du glyphosate et d'AMPA exportés à la sortie de la parcelle 2018-2020

	Année 2018-2019	Année 2019-2020	Année 2020-2021
Pluie(mm) / Lame Ruisselée (mm) après traitement	793 / 70	839 / 273	503 / 12
Traitements glyphosate sur 1.32 ha (g)	5760 g	5760 g	5760 g
Concentration glyphosate max/moy(µg/L)	118.4/ 12.90	48.75/ 14.19	15/4.75*
Concentration AMPA max/moy (µg/L)	20.20/ 6.29	25.15/ 10.11	38/15.68*
Glyphosate exporté (g/%%))	12.8 g/ 0.22%	14.9g/ 0.25%	2.4*/0.04%*
AMPA exporté (g/ % equiv. Glyphosate [↑])	7.1g/0.21 % [↑]	13.8g/0.40% [↑]	6.2g*/0.18%* [↑]

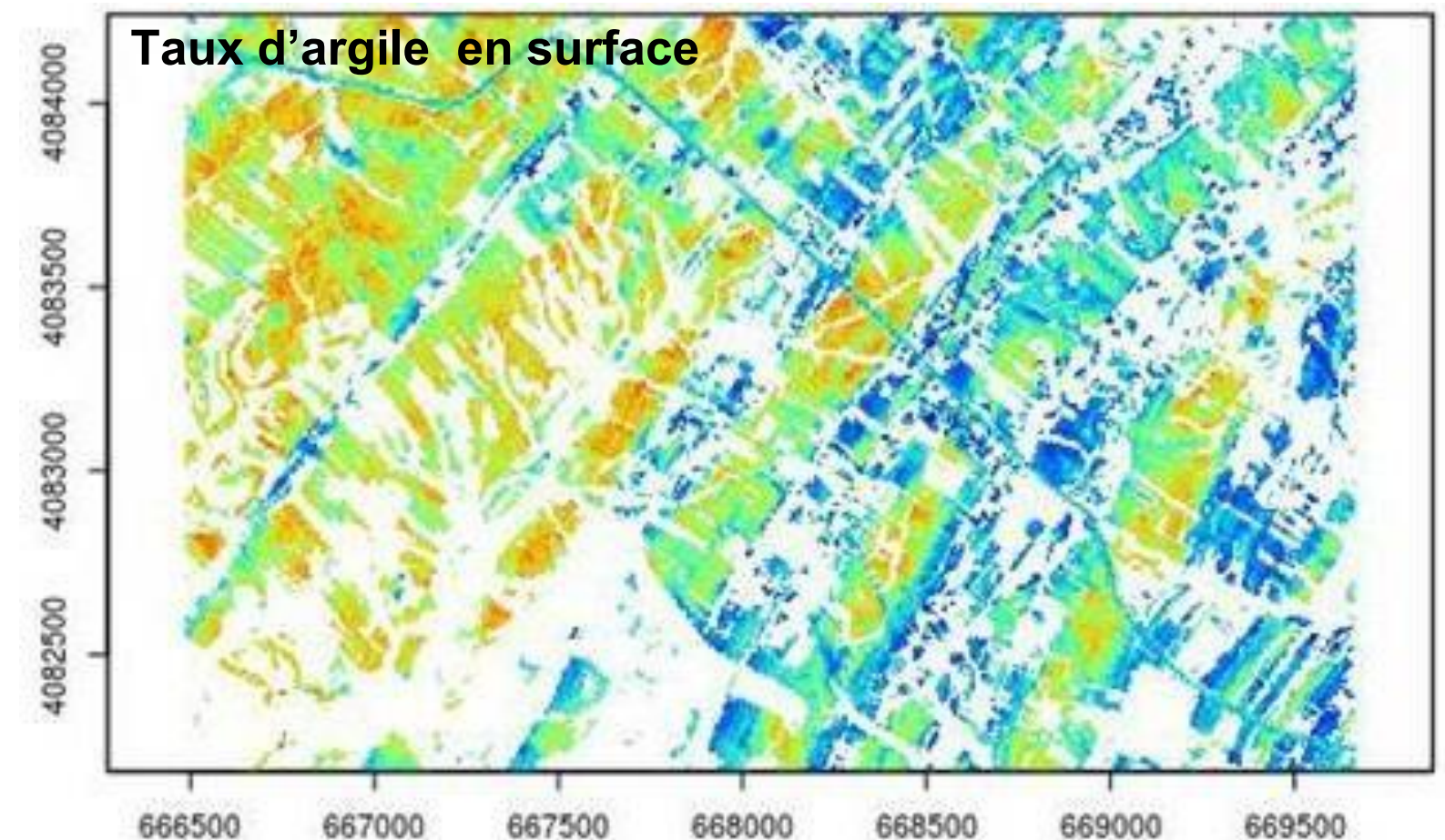
*les valeurs 2020-2021 sont calculés sur un seul prélèvement analysé

[↑] les valeurs de concentration d'AMPA sont multipliées par 1.67 pour tenir compte du rapport des poids molaires entre le glyphosate et l'AMPA.

Protocoles de simulation de pluies sur deux types de sols



**2 types de sols :
un sol gréseux et
un sol marneux**



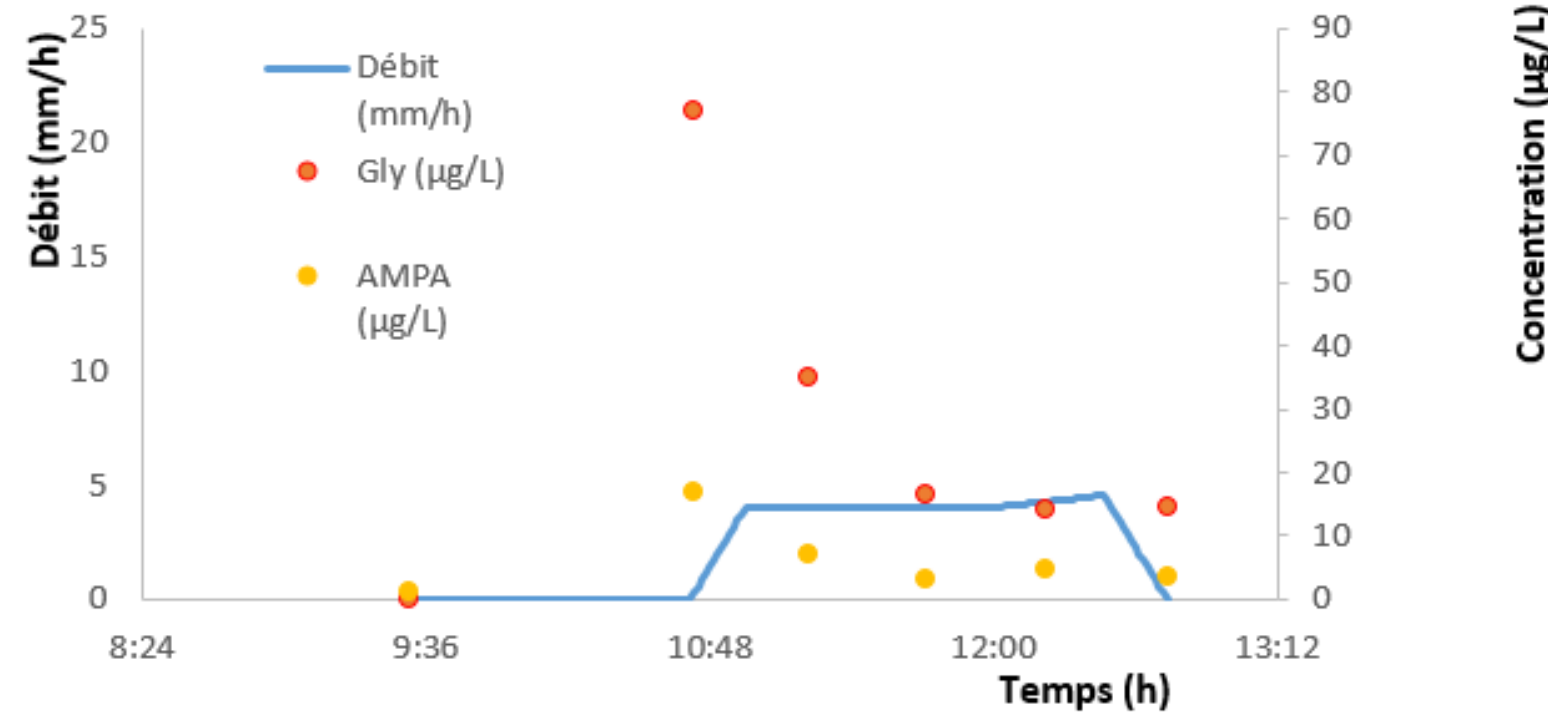
Simulation de pluie sur des placettes de 2 m²



- Humectation du sol jusqu'à remplir la réserve utile pour empêcher le phénomène de percolation du glyphosate en profondeur
- Application du glyphosate à un sol humide et travaillé sur les 5 cm du sol
- Prélèvement des échantillons de sol pour déterminer la teneur en eau avant et après l'averse

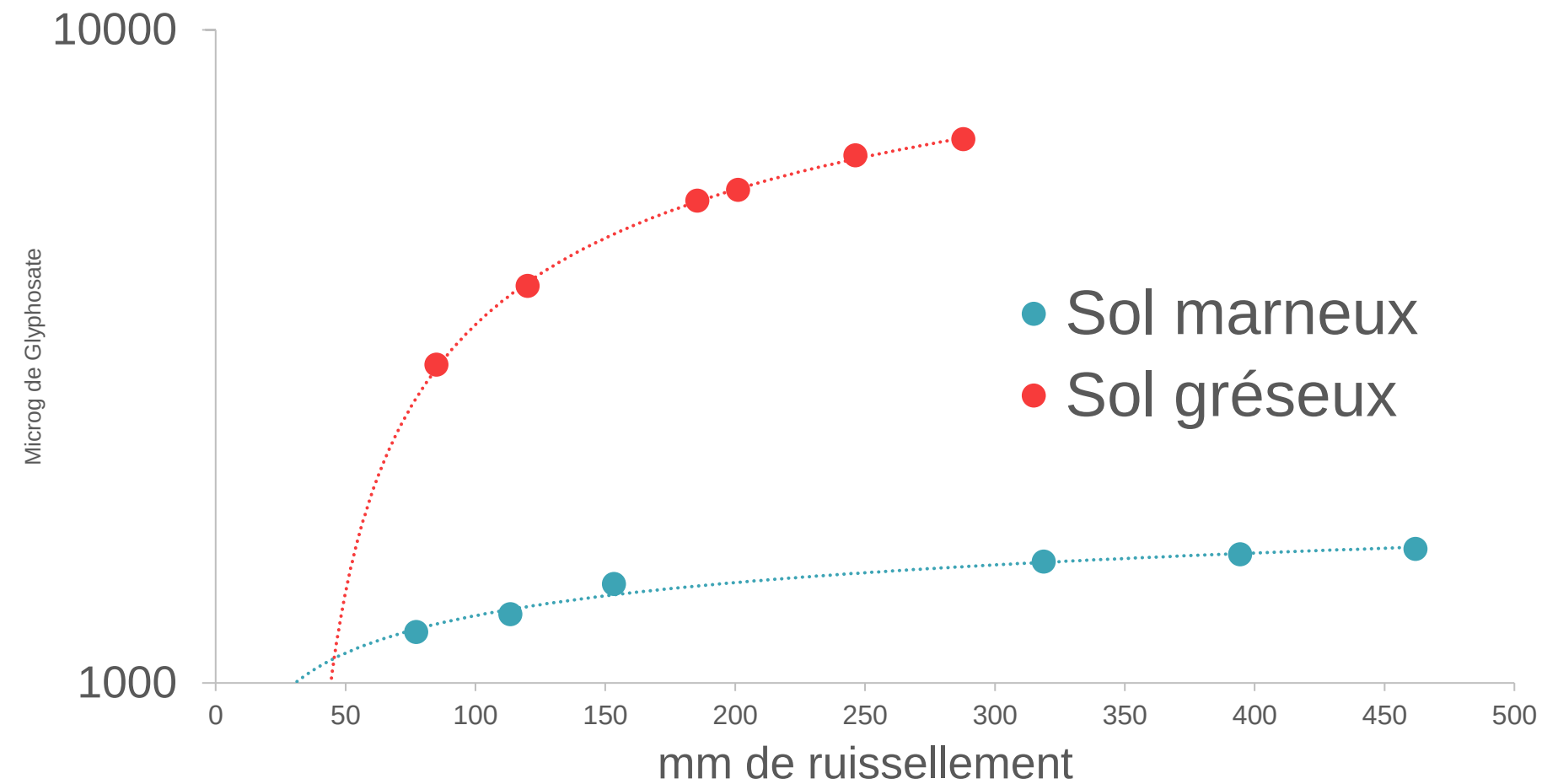
- Prélèvement des échantillons à différents points et un prélèvement moyen
- Calcul de pluie et du débit de ruissellement
- Traçage des hydro-grammes

Exemple d'évolution des concentrations de glyphosate et d'AMPA en fonction du débit de ruissellement.



- Averses séparées de 24 h
- Variation volontaire de l'intensité de la pluie
- Prélèvement des échantillons sur toute l'averse (points rouges)

Simulation de pluie (7 averses sur 21 jours)



Protocole de laboratoire

- 2 types de sols : un sol gréseux et un sol marneux
- 2g de sol sont mis en contact avec une solution de glyphosate marquée au Carbone 14 et l'activité de la solution surnageante est mesurée au compteur à scintillation
- La cinétique de la sorption : des temps de contact 8H, 16H, 24H, 30H, 40H, 48H et 72H
- Désorption : la solution surnageante est remplacée par une solution sans glyphosate (24H)
- Chaque essai fait l'objet de 3 répétitions

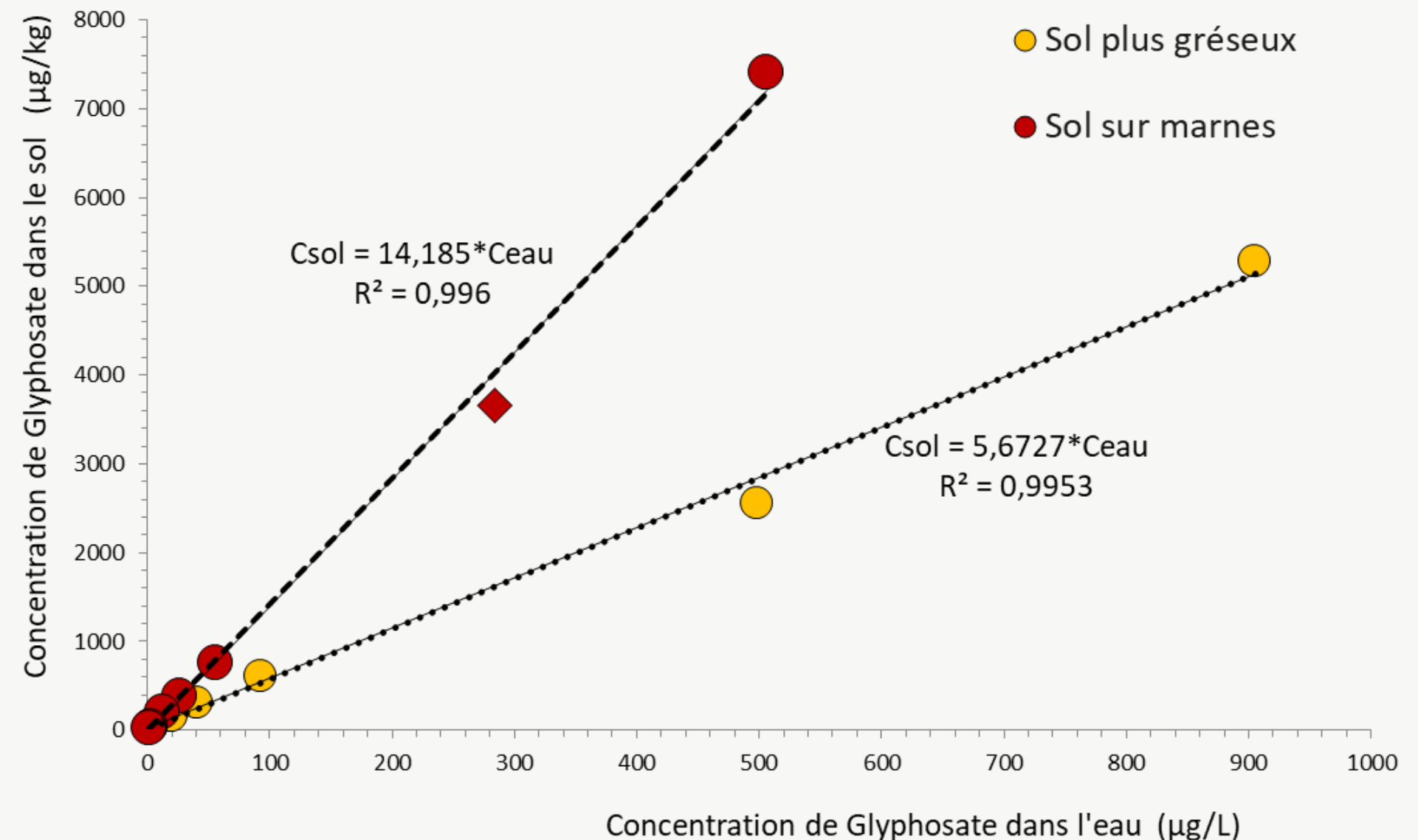


Résultats

Kd différents entre les deux sols étudiés
: **14,2 (sol marneux) et de 5,7 kg L⁻¹ (sol gréseux)**

→ Les valeurs de Kd sont faibles par rapport à la littérature surtout si on considère les fortes teneurs en argiles et les CEC relativement élevées de ces deux sols de surface

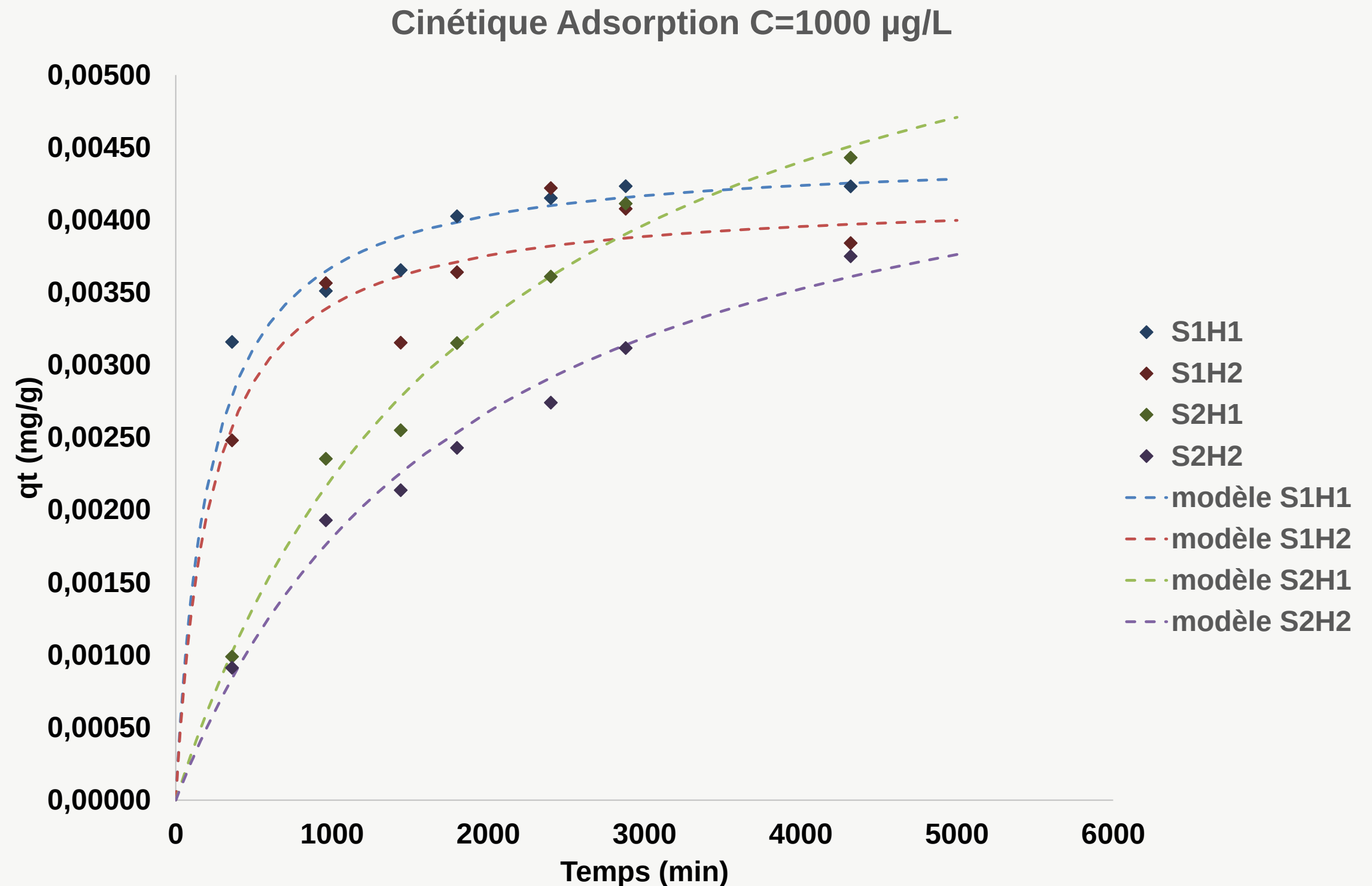
→ pH des sols exceptionnellement élevé dû au contenu en calcaire des sols dont l'effet est renforcé par la faiblesse des teneurs en M.O.



Détermination du coefficient de partage eau-sol en 24H pour les deux types de sols étudiés (horizon de surface 0-10 cm)

Cinétique d'adsorption

- L'équilibre est atteint pour les deux sols en 48h. Pour le sol sur marnes, le taux d'adsorption est de **74% en 3H**, alors qu'il est seulement de **22%** pour le sol gréseux
- En 24H de contact, ce sont **86% et 57%** du glyphosate qui a été adsorbé (par rapport à l'adsorption en 72H)
- → dans nos sols l'adsorption complète est plus lente qu'ailleurs et se fait sur plusieurs jours ce qui est rarement observé



Conclusions : Premiers diagnostics

Contaminations des eaux de surfaces : les concentrations :

- Sont mesurables dans toutes les eaux issues de l'agrosystème pluvial.
- Sont modérées au Cap Bon.
- Ne comprennent pas d'organochlorés
- Les herbicides et leurs métabolites dominant en fréquence et concentrations
- Quelques molécules d'usage illégal ou de présence surprenantes

Sur les méthodes

- Imperfection des résultats par enquêtes et des analyses
- Pertinence des lacs collinaires comme lieux d'analyses des concentrations des polluants.
- L'analyse multirésidus en net progrès

Conclusions : Comportement du glyphosate

Observations

Suivis

- Influence de la première crue sur traitement
- Influence Ruissellement et temps depuis traitement

Simulation de pluies

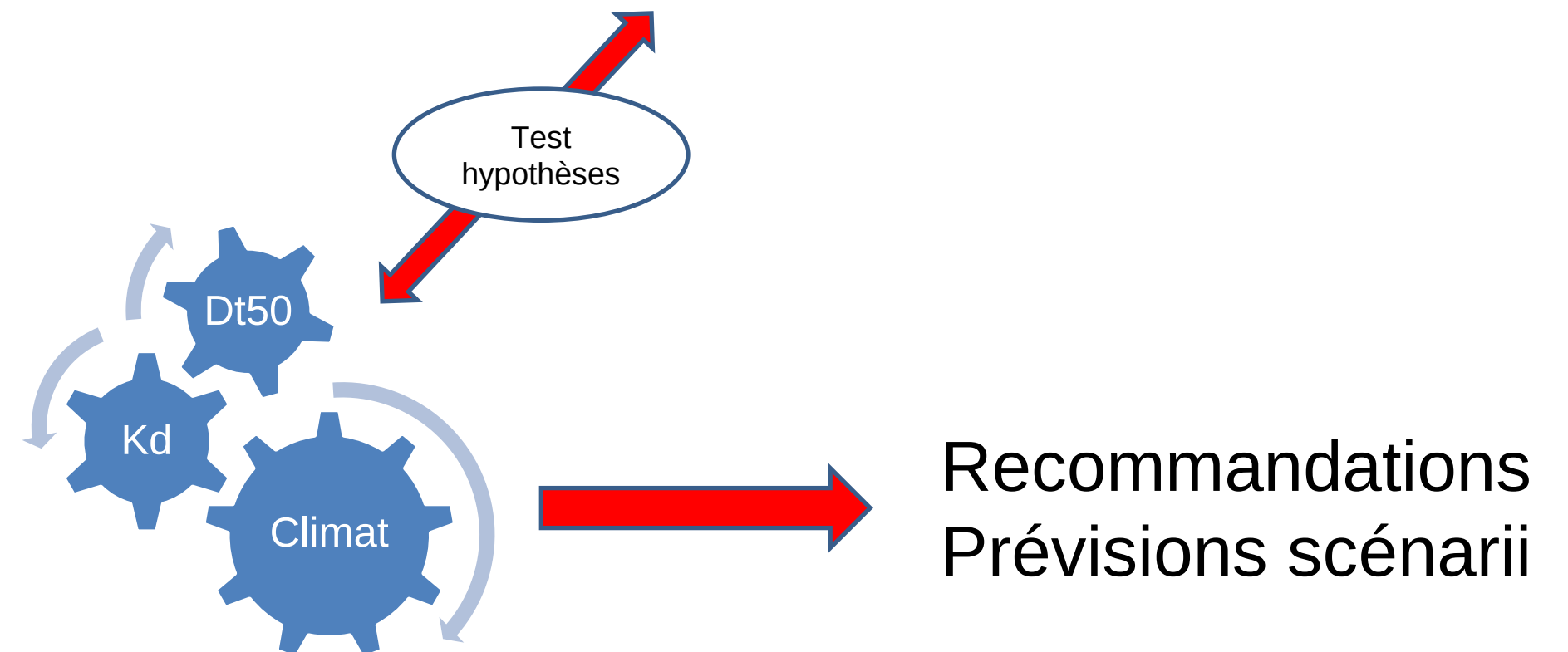
Effets des espacements

Laboratoire

Enseignements :

Comportement général attendu:

- Calibration PZRM5 possible
- Effets des sols importants
 - Effet texture.



Perspectives

- . Modélisation parcellaire des exports (PZRM)
- . Télédétection des traitements herbicides.



MERCI !