



---

Evaluation des risques de transferts du nitrate  
et de résidus phytopharmaceutiques sous racines en sol  
d'alluvions fluvio-glaciaires de Rhône-Alpes

---



**SYNTHÈSE  
DE 8 ANNÉES D'EXPERIMENTATION  
(2006 – 2014)**

### Auteurs :

Lucie BLANC, Yves POUSSET, Jonathan MARKS PERREAU, Thibaut RAY, Alain DUTERTRE,  
Benoît REAL (ARVALIS – Institut du végétal)  
& Pierre BENOIT (INRA UMR EcoSys, Grignon)

# SOMMAIRE

1. Rappel du contexte et des objectifs de l'étude .....	9
1. 1. Contexte de l'étude .....	9
1. 2. Objectifs de l'étude .....	9
2. Description du dispositif expérimental .....	10
2. 1. Présentation du site .....	10
2. 1. 1. Contexte géographique .....	10
2. 1. 2. Contexte géologique et hydrogéologique .....	10
2. 1. 3. Sol .....	11
2. 1. 4. Climat .....	12
2. 2. Les systèmes de culture étudiés .....	13
2. 3. Résultats agronomiques des différents systèmes .....	20
2. 4. Description du système de recueil des eaux d'infiltration .....	23
2. 5. Protocole de l'essai – procédure de prélèvement .....	24
2. 6. Hydrologie du site .....	27
2. 5. 1. Fonctionnement des écoulements .....	27
2. 5. 2. Mesure de traçage au bromure .....	30
3. Présentation des résultats concernant les flux d'azote .....	33
3. 1. Dynamique de l'azote sur une rotation quadriennale avec introduction de CIPAN .....	33
3. 1. 1. Croissance et teneur en azote (azote absorbé) des couverts intermédiaires .....	33
3. 1. 2. Effet des CIPAN sur la lixiviation du nitrate .....	37
3. 1. 3. Effet des CIPAN sur la nutrition azotée de la culture suivante .....	42
3. 1. 4. Etude des reliquats post-récolte de la rotation quadriennale .....	44
3. 1. 5. Enseignements des 8 années d'essai sur rotation quadriennale en matière de transfert du nitrate .....	45
3. 2. Dynamique de l'azote sur une monoculture de maïs .....	46
3. 2. 1. Effet de la conduite en monoculture de maïs sur les quantités d'eau drainée .....	46
3. 2. 2. Effet des pratiques de fertilisation azotée de la monoculture de maïs sur la lixiviation du nitrate et les reliquats post-récolte .....	47
3. 2. 3. L'efficacité des apports d'azote .....	52
3. 2. 4. Lien entre l'azote non valorisé des engrais et la lixiviation sous culture .....	53
3. 2. 5. Lien entre l'azote non valorisé des engrais et l'alimentation du reliquat post-récolte .....	55
3. 2. 6. Enseignement concernant 8 années d'études en monoculture de maïs sur le transfert du nitrate .....	56
3. 3. Dynamique de l'azote sous un couvert permanent .....	56
3. 4. Analyse des eaux de pluie et des eaux d'irrigation .....	57
3. 5. Préconisations suite aux 8 années d'étude sur le transfert du nitrate .....	58

4.	Présentation des résultats concernant les résidus de pesticides.....	59
4.1.	Démarche d'analyse des données de transfert de produits phytopharmaceutiques.....	59
4.1.1.	Les variables calculées.....	60
4.2.	Récapitulatif du nombre d'échantillons analysés et répartition par modalité.....	62
4.3.	Evolution du seuil de quantification au cours de l'étude .....	63
4.4.	Les substances actives recherchées .....	64
4.5.	Les résultats : fréquence de quantification.....	68
4.6.	Concentration maximale .....	70
4.7.	Focus sur quatre substances actives.....	71
4.7.1.	Nicosulfuron.....	71
4.7.2.	Bentazone.....	75
4.7.3.	Glyphosate et AMPA.....	78
4.7.4.	S-Metachlore .....	82
4.8.	Focus sur le s-métolachlore et ses métabolites : campagne 2014 -2015 .....	85
4.9.	Etude de dissipation de 3 molécules dans les sols de Lyon St Exupéry.....	90
4.10.	Enseignements de 8 années d'étude concernant les transferts de pesticides .....	94
4.11.	Quels conseils peut-on faire suite aux 8 années d'étude sur le transfert de produits phytosanitaires ?.....	95
5.	Conclusion générale : 8 ans d'expérimentation de suivi de transfert de nitrate et de substances phytopharmaceutiques en sols filtrants de la plaine de Lyon.....	96
	ANNEXES .....	99

# Table des illustrations

Figure 1 - Carte de localisation du site.....	10
Figure 2 - Schéma de la structure en profondeur du sol et du sous-sol de la plaine de Lyon .....	11
Figure 3 - Profil de Sol .....	12
Figure 4 - Cumul des précipitations de chaque campagne de l'essai .....	13
Figure 5 - Plan du dispositif .....	15
Figure 6 - Récapitulatif des successions culturales de l'essai .....	19
Figure 7 - Evolution du rendement en maïs par modalité (2006 à 2014) .....	20
Figure 8 - Evolution des rendements des cultures de la rotation référence (2006 - 2014) .....	21
Figure 9 - Evolution des rendements des cultures de la rotation couverture du sol (2006 - 2014) ...	21
Figure 10 - Evolution de la dose d'azote apporté par modalité (2006 - 2014) .....	22
Figure 11 - Evolution des quantités totales de Matières Actives épandues, par modalité, 2006-2014 .....	22
Figure 12 - Quantité d'irrigation moyenne utilisée par modalité (2006 -2014) .....	23
Figure 13 - Photo d'une plaque lysimétrique en cours d'installation .....	23
Figure 14 - Plan installation de deux cases lysimétriques .....	24
Figure 15 - Procédure de prélèvement des échantillons .....	26
Figure 16 - Cinétique de percolation exemple du lysimètre 5 - février 2010 .....	28
Figure 17 - Double cumul pluie et percolat : exemple lysimètre 1 et 2 campagne 2006/2007 Culture de blé - cumul du 04.07.2006 au 13.07.2007 .....	28
Figure 18 - Lame d'eau moyenne annuelle sans les lysimètres du couvert permanent .....	29
Figure 19 - Lames d'eau moyenne par lysimètre .....	29
Figure 20 - Cumul lame d'eau de 2007 à 2014 en fonction des conduites de cultures .....	30
Figure 21 - Concentrations en bromure des eaux - Lys 9 et 13.....	31
Figure 22 - Flux cumulé de bromure .....	31
Figure 23 - Niveau de croissance des couverts intermédiaires .....	34
Figure 24 - Biomasse moyenne (T/ha) par type de CIPAN .....	35
Figure 25 - Durée moyenne d'implantation (en jours) de chaque CIPAN .....	35
Figure 26 - Teneur en azote des cultures intermédiaires par parcelle et par campagne.....	36
Figure 27 - Quantité moyenne d'azote (kg/ha) par type de CIPAN.....	36
Figure 28 - Biomasse et quantité d'azote moyenne du colza selon le type de précédent .....	37
Figure 29 - Lame d'eau cumulée (en L) sur l'ensemble de l'essai pour la parcelle 1 .....	38
Figure 30 - Evolution des teneurs en nitrate pondérées (en mg/L) de chaque modalité de la parcelle 1 .....	39
Figure 31 - Flux d'azote cumulé (en kgN/ha) sur l'ensemble de l'essai pour la parcelle 1 .....	39
Figure 32 - Cumuls de percolats sur 8 campagnes (2006-2007 à 2013-2014) .....	40
Figure 33 - Teneur en nitrate pondérée sur 8 campagnes (2006-2007 à 2013-2014) .....	40
Figure 34 - Relation entre l'écart de lixiviation sol nu/couvert et la quantité d'azote absorbé par le couvert.....	41
Figure 35 – Relation entre la quantité d'azote absorbé par les cultures intermédiaires et stock d'azote avant drainage.....	42
Figure 36 - Effet de deux mélanges de couverts sur la fourniture d'azote à la culture suivante .....	43
Figure 37 - Effet des familles de couverts sur la fourniture d'azote au maïs suivant.....	44
Figure 38 - Reliquat post-récolte (écart TON) moyen selon chaque modalité et culture des 2 rotations.....	45
Figure 39 - Reliquat post-récolte moyen selon chaque modalité et culture des 2 rotations .....	45
Figure 40 - Cumuls de percolats sur les 8 campagnes (2006-2007 à 2013-2014).....	47

Figure 41 - Teneur en nitrate pondérée par campagne (2006-2007 à 2013-2014) pour chaque modalité .....	48
Figure 42 - Evolution de la teneur en nitrate des modalités monoculture de maïs au cours de l'essai .....	49
Figure 43 - Dose totale apportée par modalité sur les 8 campagnes.....	49
Figure 44 - Evolution des reliquats post-récolte de chaque modalité monoculture au cours de l'essai .....	50
Figure 45 - Quantité d'azote lixivié par campagne (bâtonnets bleus) dont une partie se fait sous la culture de maïs (bâtonnets bordeaux).....	50
Figure 46 - Flux d'azote cumulé pour les modalités REF, NL et FPI de la monoculture au cours des 8 ans.....	51
Figure 47 - Flux d'azote cumulé pour les modalités REF et ECO-CM de la monoculture au cours des 8 ans.....	52
Figure 48 - Evolution du coefficient apparent d'utilisation de l'azote apporté sur les 8 campagnes .	53
Figure 49 - Relation entre l'azote apporté par les engrais non valorisé et la lixiviation sous culture	54
Figure 50 - Relation entre l'azote des engrais non valorisé et l'écart de reliquat avec le témoin sans fertilisation .....	55
Figure 51 - Biomasse aérienne annuelle du couvert permanent .....	56
Figure 52 - Indice de nutrition azoté du couvert permanent durant l'essai.....	57
Figure 53 - Quantité cumulée d'azote lixivié sur les 8 années d'essais .....	57
Figure 54 - Teneur en nitrate (mg/L) des eaux de pluie et d'irrigation .....	58
Figure 55 - Structure des données acquises sur le dispositif.....	60
Figure 56 - Evolution des limites de quantification en fonction du temps.....	64
Figure 57- Proportion des molécules quantifiées dans les échantillons d'eau (2006 à 2014) .....	66
Figure 58 - Fréquence de quantification par substance active entre 2006 et 2014 (le chiffre indique le nombre d'analyses < ou > à la LQ pour chaque substance .....	69
Figure 59 - Station de la Jaillièrè (44) - Fréquence de quantification par substance active entre 1994 et 2014 .....	70
Figure 60 - Concentration maximale par substance active entre 2006 et 2014 .....	71
Figure 61 - Répartition des concentrations de nicosulfuron en fonction du temps séparant l'application du prélèvement.....	74
Figure 62 - Répartition des flux de nicosulfuron en fonction du temps séparant l'application du prélèvement.....	74
Figure 63 - Chronique de concentration en nicosulfuron entre 2008 et 2014 - Lysimètre 21 - Monoculture de maïs / Non Labour .....	75
Figure 64 - Répartition des concentrations de bentazone en fonction du temps séparant l'application du prélèvement.....	76
Figure 65 - Répartition des flux de bentazone en fonction du temps séparant l'application du prélèvement.....	77
Figure 66 - Chronique de concentration en bentazone entre 2012 et 2014 - Lysimètre 10 - Rotation quadriennale / Référence.....	77
Figure 67 - Répartition des concentrations de glyphosate en fonction du temps séparant l'application du prélèvement.....	79
Figure 68 - Répartition des flux de glyphosate en fonction du temps séparant l'application du prélèvement.....	79
Figure 69 - Chronique de concentration en glyphosate et AMPA entre 2006 et 2014 - Lysimètre 1 - Rotation quadriennale / Référence.....	80
Figure 70 - Cumul de flux de glyphosate et d'AMPA en fonction du cumul de lame d'eau analysée - Application du 20/07/2006 sur le lysimètre L01 - du 21/09/2006 au 13/10/2014.....	81

Figure 71 - Station du Magneraud (17) - Cumul de flux de glyphosate et d'AMPA en fonction du cumul de lame d'eau analysée - application le 06/10/2003 à 1080 g/ha.....	81
Figure 72 - Station de Thibie (51) - Cumul de flux de glyphosate et d'AMPA en fonction du cumul de lame d'eau analysée - application le 8/12/2008 à 810 g/ha .....	82
Figure 73- Répartition des concentrations de s-métolachlore en fonction du temps séparant l'application du prélèvement.....	84
Figure 74 - Répartition des flux de s-métolachlore en fonction du temps séparant l'application du prélèvement.....	84
Figure 75 - Chronique de concentration en s-métolachlore entre 2012 et 2013 - Lysimètre 2 - Rotation quadriennale / Référence.....	85
Figure 76 - chronique de concentration en s-métolachlore et métabolites sur le lysimètre 09 entre 2014 et 2015 - rotation quadriennale/référence .....	88
Figure 77 - Chronique de concentration en s-métolachlore et métabolites sur les lysimètres 11 et 12 entre 2014 et déc. 2015 - rotation quadriennale/couvert intermédiaire.....	89
Figure 78 - Chronique de concentration en s-métolachlore et métabolites sur les lysimètres 05 et 06 entre 2014 et déc. 2015 - rotation quadriennale/référence.....	90
Figure 79 - Biomasse microbienne et teneur en Carbone organique.....	91
Figure 80 - coefficient d'adsorption des 3 molécules.....	92
Figure 81 - Minéralisation de l'isoproturon et de l'époxiconazole sur les 3 horizons .....	93
Figure 82 - Disponibilité des résidus d'isoproturon et de l'époxiconazole sur l'horizon de surface et l'horizon profond .....	93

## Table des tableaux

Tableau 1 - Nombre total d'échantillons par modalité et par lysimètre entre 2006 et 2014 .....	62
Tableau 2 - Nombre total d'échantillons par modalité et par campagne .....	63
Tableau 3 - Récapitulatif de l'effort d'échantillonnage entre 2006 et 2014.....	65
Tableau 4 - Substances actives non quantifiées - Récapitulatif du nombre d'analyses et du nombre de détections .....	67
Tableau 5 - Récapitulatif des transferts de nicosulfuron par date d'application, par lysimètre et par dose d'application .....	72
Tableau 6 - Récapitulatif des transferts de bentazone par date d'application, par lysimètre et par dose d'application .....	76
Tableau 7 - Récapitulatif des transferts de glyphosate par date d'application, par lysimètre et par dose d'application .....	78
Tableau 8 - Récapitulatif des transferts de s-métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application .....	83
Tableau 9 - Récapitulatif des transferts de s-métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application .....	86
Tableau 10 - Récapitulatif des transferts d'ESA métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application .....	87
Tableau 11 - Récapitulatif des transferts d'OXA métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application .....	87

# Glossaire

<b>µg/L</b>	Microgrammes/Litres
<b>AMPA</b>	Acide aminométhylphosphonique, métabolite du glyphosate
<b>Aphanomyces</b>	Champignon pathogène des racines des plantes protéagineuses
<b>AUREA</b>	Laboratoire d'analyse basé à Orléans
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	Chlorure de calcium
<b>CAU</b>	Coefficient Apparent d'Utilisation
<b>CIPAN</b>	Cultures intermédiaires piège à nitrate
<b>CM</b>	Conduite Coupure Monoculture
<b>C<sub>max</sub></b>	Concentration Maximale
<b>CMP</b>	Concentration Moyenne Pondérée
<b>COMIFER</b>	Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation.
<b>CREAS</b>	Centre régional d'Expérimentation Agricole de Saint Exupéry
<b>C<sub>sol</sub></b>	Couverture Sol
<b>DEA</b>	Déséthylatrazine, métabolite de l'atrazine
<b>DIA</b>	Déisopropylatrazine, métabolite de l'atrazine
<b>DT50</b>	Dose létale causant la mort de 50% d'une population donnée.
<b>ESAmétachlore</b>	Métachlore acide sulfonique
<b>FPI</b>	Faible Pression d'Intrants
<b>g/ha</b>	Grammes/hectares
<b>g/L</b>	Grammes/Litres
<b>GIRPA</b>	Laboratoire d'analyse basé à Angers
<b>IFT</b>	Indice fréquence traitement
<b>Kg N/ha</b>	Kilogrammes d'azote/hectares
<b>Koc</b>	Coefficient de partage carbone organique/eau
<b>LQ</b>	Limite de quantification
<b>mg/ha</b>	Miligrammes/hectares
<b>mg/L</b>	Miligrammes/Litres
<b>mm</b>	Millimètres
<b>MO</b>	Matière Organique
<b>MS/ha</b>	Matière Sèche/hectare
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Ammonium
<b>NL</b>	Non labour
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Nitrate
<b>N-tester</b>	Méthode d'ajustement azote
<b>OXAmétachlore</b>	Métachlore acide oxanilique
<b>pH</b>	Potentiel Hydrogène
<b>Pollutions</b>	
<b>diffuses</b>	Pollution due à des rejets de polluants dans le temps et dans l'espace
<b>RU</b>	Réserve utile
<b>SA</b>	Substance Active
<b>SAU</b>	Surface agricole utile
<b>Zones vulnérables</b>	Zones désignées comme vulnérables à la pollution diffuse par les nitrates d'origine agricole

## 1. Rappel du contexte et des objectifs de l'étude

### 1. 1. Contexte de l'étude

En région Rhône-Alpes, les grands aquifères localisés dans les alluvions fluvio-glaciaires sont considérés comme vulnérables au regard des pollutions diffuses d'origine agricole.

Les formations de couverture sablo-graveleuses sont en effet très perméables. L'eau s'y infiltre rapidement. Le milieu est d'autre part soumis à des pressions d'usage agricole élevées. Cela peut générer des transferts du nitrate et de matières actives phytopharmaceutiques vers les nappes d'eau souterraines qui ne sont pas protégées, phénomènes confirmés par les réseaux de surveillance mis en place par l'Agence de l'Eau.

Ces formations sont largement représentées dans les zones de plaine ou de terrasse de la région Rhône-Alpes. Elles constituent le substrat des sols d'environ 1/3 de la SAU. Ces terrains sont à vocation majoritairement céréalière (environ 50% de maïs irrigué) et arboricole. Afin de préserver de la ressource en eau, il convient de proposer aux agriculteurs des solutions techniques éprouvées. Cela nécessite de bien connaître les modalités d'infiltration des produits fertilisants et phytosanitaires vers la nappe en fonction des différents itinéraires techniques de production adoptés.

### 1. 2. Objectifs de l'étude.

En matière d'azote, l'objectif est de produire des références concernant les transferts dans les sols d'alluvions fluvio-glaciaires sous différentes situations de successions culturales.

Les questions posées sont d'abord celles de la nature des variables influentes (couverture du sol en interculture, labour ou non-labour ...) et surtout de leur effet sur le niveau des transferts afin de les hiérarchiser. Enfin, une autre question posée est celle du choix d'indicateurs fiables et facilement accessibles permettant de caractériser l'année, la parcelle et le système de culture.

En terme de matières actives phytopharmaceutiques, les questions posées portent sur la nature des molécules qui peuvent faire l'objet de transfert, l'époque et les niveaux de transfert afin de mettre au point des itinéraires de protection des cultures limitant ces flux dans le cadre des objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau. Pour cela, différents types de molécules ont été recherchés : les substances actives des produits utilisés ainsi que quelques métabolites.

Un dispositif expérimental a donc été mis en place sur une parcelle du CREAS. Ce dispositif est découpé en plusieurs parcelles fonctionnant avec différents systèmes de culture et selon différentes conduites. Des cases lysimétriques permettant de récupérer les eaux de percolation ont été installées sous ces parcelles. Ces cases vont permettre de récolter l'essentiel de l'information concernant les transferts. Les percolats issus de celles-ci seront analysés en laboratoire.

Afin de hiérarchiser les variables, les niveaux de transfert de chaque modalité seront répertoriés et traités en comparaison avec les modalités « référence » de l'essai, représentatives des pratiques les plus courantes dans la région. Concernant les produits phytopharmaceutiques, des chroniques de concentration par molécule ainsi que des comparaisons de fréquences de quantification vont être réalisées afin de déterminer l'époque de transfert et les molécules en jeu.

Les partenaires et acteurs régionaux se sont fédérés autour de ce projet. Un Comité de Pilotage et un Comité Scientifique ont été créés.

- Financiers : Agence de l'Eau RMC (Rhône Méditerranée Corse) – Conseil Régional Rhône- Alpes.

- Membres du Comité de Pilotage : Agence de l'eau RMC – Conseil Régional Rhône-Alpes- DRAF Rhône-Alpes – IRSTEA Lyon – Terres-Inovia – AGRIDEV Terre d'Alliances – Coopérative Dauphinoise - CREAS – PEP Rhône-Alpes – Chambre Régionale d'Agriculture Rhône-Alpes – Chambre d'Agriculture du Rhône – Chambre d'Agriculture de l'Isère – Chambre d'Agriculture de l'Ain – Chambre d'Agriculture de la Drôme – Aéroports de Lyon – ARVALIS-Institut du végétal.
- Membres du Comité Scientifique : Agence de l'eau RMC – Conseil Régional Rhône-Alpes – INRA Grignon – IRSTEA Lyon – Chambre d'Agriculture Rhône-Alpes – BRGM Orléans – Bayer Crop Science – ARVALIS-Institut du végétal.

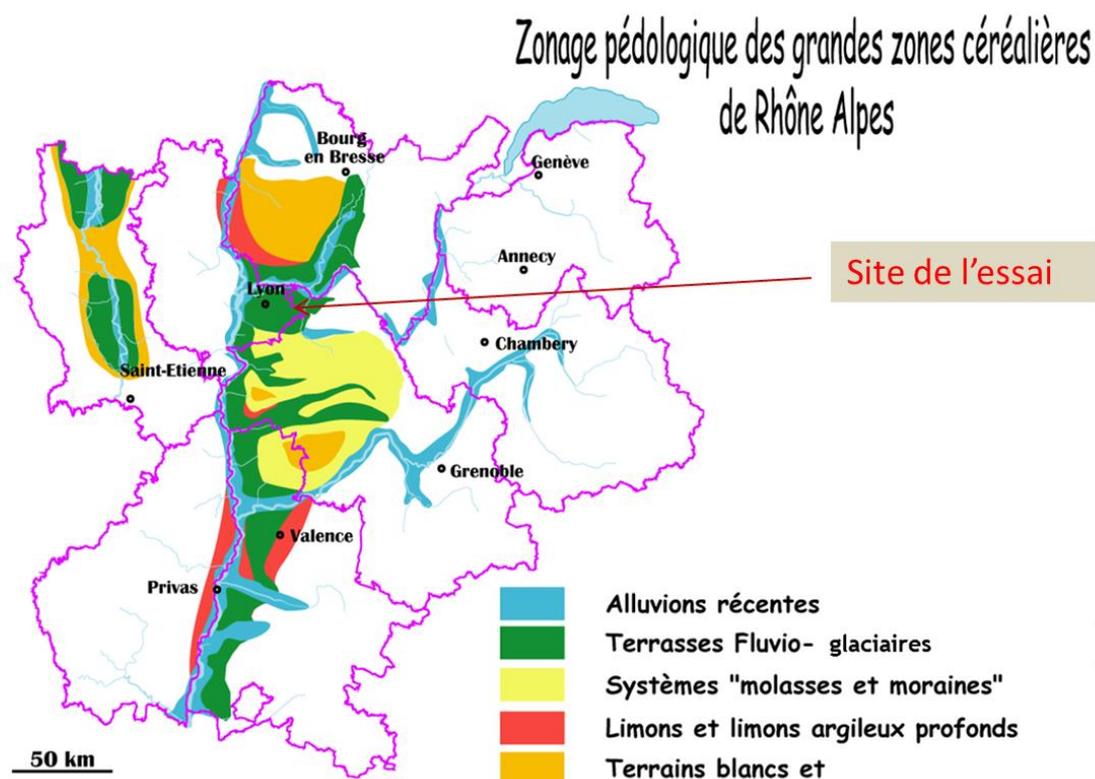
## 2. Description du dispositif expérimental

### 2. 1. Présentation du site

#### 2. 1. 1. Contexte géographique

Le dispositif de Lyon St Exupéry se trouve sur une parcelle du CREAS (Centre Régional d'Expérimentation Agricole Saint-Exupéry), localisé dans la Plaine de Lyon sur la commune de Colombier-Saugnieu (69). Il appartient à la petite région du Bas-Dauphiné.

Figure 1 - Carte des zones pédologiques et de localisation du site



Sol Info Rhône-Alpes, Chambre Régionale d'Agriculture, 5, rue Hermann Frenkel 69 364 Lyon cedex 07  
[www.ardemi.fr/sira/](http://www.ardemi.fr/sira/), [sira@rhone-alpes.chambagri.fr](mailto:sira@rhone-alpes.chambagri.fr)

#### 2. 1. 2. Contexte géologique et hydrogéologique

Le site est situé dans le « couloir de Meyzieu », plaine alluviale encadrée par deux buttes morainiques, celles de Genas et de Pusignan. Cette plaine présente un faible relief, inclinée du

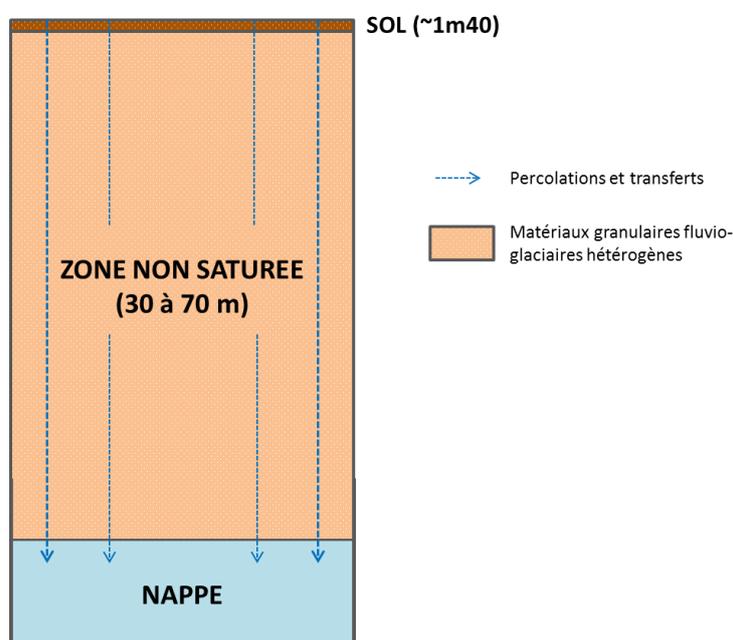
Sud-Est au Nord-Est et n'est parcourue par aucun cours d'eau pérenne (BRGM/RP-61848-FR, 2012).

Situé sur des formations molassiques, le sous-sol est principalement composé de dépôts glaciaires morainiques en profondeur, de dépôts glaciaires plus irréguliers dans la partie médiane ainsi que des alluvions fluvioglaciales dans la partie supérieure (Grand Lyon Métropole – Artelia, 2016). L'ensemble est appelé « graviers profonds ».

L'épaisseur de ces dépôts constitue un important réservoir aquifère. La zone non saturée, formée de matériaux granulaires fluvioglaciales hétérogènes, montre une épaisseur comprise entre 30 et 70m de profondeur. Elle joue un rôle essentiel sur le transfert et le devenir des intrants et de ce fait sur la qualité des eaux souterraines (P. Sidoli, 2015).

Ce type de formation est largement représenté dans la région Rhône-Alpes et couvre environ un tiers de la surface agricole utile. Ces sols sont à vocation majoritairement céréalière et arboricole.

Figure 2 - Schéma de la structure en profondeur du sol et du sous-sol de la plaine de Lyon



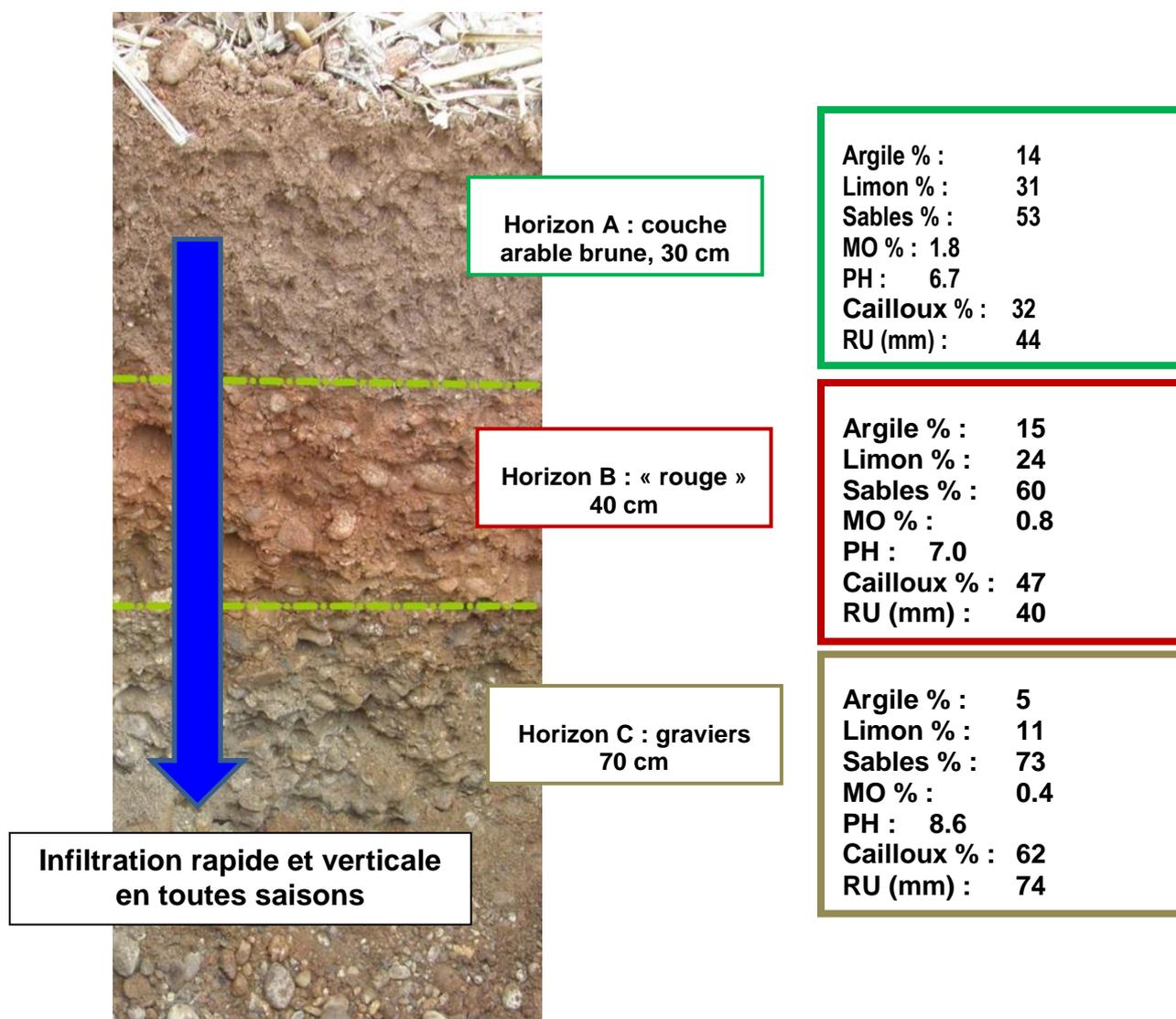
### 2. 1. 3. Sol

En surface, le sol est limono-sableux, les proportions de sables augmentant avec la profondeur. Le sol se découpe en trois horizons : un horizon A de 30 cm correspond à la couche arable brune, un horizon B de 70 cm de couleur rouge, lié au dépôt d'argile et à l'oxydation du fer et un horizon C de 70 cm, affleurant la roche mère (cf. Figure 3). Le sol est très filtrant du fait de la quantité importante d'éléments grossiers et de sables qui le composent : le pourcentage de cailloux est compris entre 32 % (horizon A) et 62% (horizon C). Les infiltrations d'eau y sont rapides et les éléments dissous peuvent présenter un risque non négligeable de pollution des nappes.

La Réserve Utile (RU), quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante, a été mesurée sur le site au cours d'un mémoire de fin d'étude. Le niveau moyen de RU est de l'ordre de 130 mm en maïs et 140 mm pour le blé, en lien avec leur profondeur d'enracinement respective d'1m et 1.10 m (Y. Crozat & D. Plénet). Un détail des RU par lysimètre est disponible en annexe 1. Une partie des cailloux contenus dans le sol correspond à des galets altérés de différentes nature et origine. Ces galets sont des éléments complexes qui jouent un rôle clé dans l'hydrologie du site. L'eau qu'ils sont capables d'emmagasiner correspond à environ 40 % de la RU. Les affinités de

l'eau avec ces grès peuvent parfois rendre assez complexe l'interprétation des résultats, les mécanismes en jeu étant assez peu connus.

Figure 3 - Profil de Sol

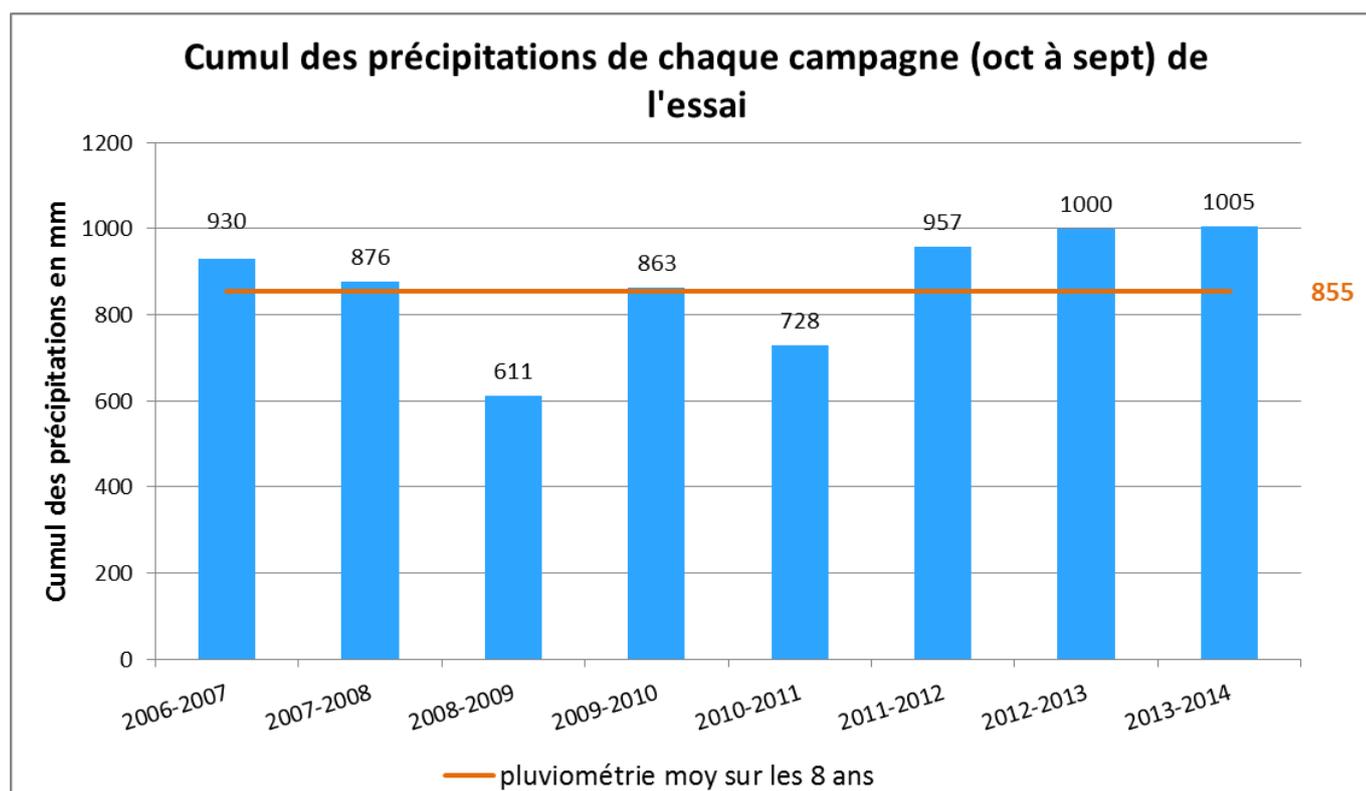


#### 2. 1. 4. Climat

Le climat est de type semi-continentale avec un niveau moyen annuel de précipitations de 855 mm (1995-2015) avec deux périodes plus pluvieuses en avril/mai et en octobre/novembre, périodes donc plus sensibles pour les transferts de solutés. Néanmoins, on constate depuis le début de l'expérimentation des variations importantes avec des pluviosités printanières et estivales parfois très élevées comme en 2007, 2008, 2012, 2013 et 2014 (cf. Figure 4 et Annexe 2).

La température moyenne journalière s'établit à 12.6°C avec un minimum en janvier à 3.7°C et un maximum en juillet avec 21.7°C. La période de déficit hydrique s'étend d'avril à septembre.

Figure 4 - Cumul des précipitations de chaque campagne de l'essai



## 2. 2. Les systèmes de culture étudiés

Le dispositif en place est une expérimentation pluriannuelle, en parcelles de taille moyenne équipées en cases lysimétriques pour la mesure des transferts d'eau et de solutés.

Il est divisé en 3 parties :

- une monoculture de maïs, répartie en 4 parcelles de 1 188 m<sup>2</sup>
- une rotation quadriennale avec 4 cultures en rotation, répartie en 8 parcelles de 1 782 m<sup>2</sup>
- un couvert permanent, sur une surface de 1 100 m<sup>2</sup>

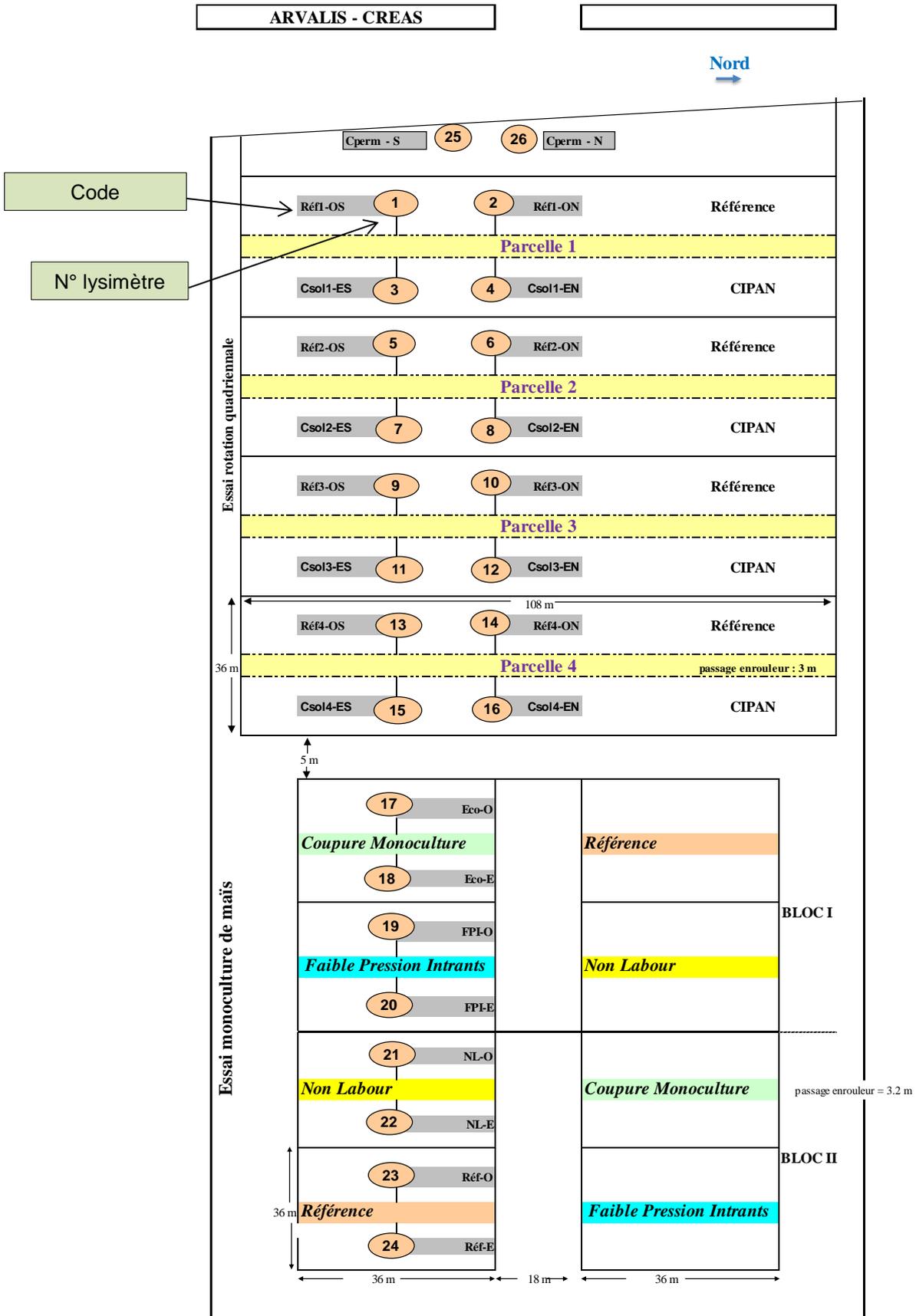
La taille de ces parcelles permet donc d'intervenir avec le matériel de l'exploitation agricole et ainsi de se mettre en situation agriculteur.

Le choix de ces dispositifs s'est fait en lien avec les pratiques culturales majeures de la région. En effet, la pratique de la monoculture maïs est largement répandue en région Rhône-Alpes et en particulier dans la Plaine de Lyon : 110 920 ha des 315 070 ha de céréales sont alloués au maïs grain en 2006 (*Agreste 2007*). Afin de mieux comprendre les mécanismes en jeu avec cette pratique, il était nécessaire d'en faire une étude à part entière dans cet essai. Concernant la rotation, celle-ci est aussi très pratiquée et principalement construite autour de deux cultures dominantes : maïs et blé (représentant 110 850 ha en 2006 Rhône-Alpes), en alternance avec un oléagineux (généralement un tournesol, soja) et un protéagineux (pois, féverole).

Le couvert permanent s'est imposé dans l'essai comme « témoin », ne bénéficiant d'aucun apport d'engrais minéraux ni de produit phytosanitaire, afin d'observer les flux existants sans travail agricole.

Le dispositif a fonctionné ainsi de 2007 à 2014, permettant de réaliser deux rotations complètes avec des évolutions dans le choix des cultures et le protocole à la fin de la première rotation en 2010.

Figure 5 - Plan du dispositif



## Espace "Monoculture de maïs"

### a) De 2007 à 2010

Quatre modalités sont définies de 2007 à 2010 :

- **Conduite "Référence"** : conduite optimale d'un point de vue technico-économique où chaque technique culturale est décidée après réalisation d'observations confrontées à des seuils et après mise en œuvre d'outils de pilotage. Parmi ces outils on compte notamment Irrinov pour l'irrigation, la méthode du N-tester pour le suivi des besoins azotés du blé, la méthode du bilan prévisionnel pour le calcul de la dose d'azote maïs aussi les préconisations des documents « Choisir & Décider » ...

- **Conduite "Non labour"** : conduite en non labour pour en identifier les performances, contraintes et atouts. Chaque technique culturale est, comme pour la conduite "Référence", décidée après réalisation d'observations confrontées à des seuils et après mise en œuvre d'outils de pilotage.

- **Conduite "Economique"** : la diminution des intrants par rapport à la conduite de référence est vue sous l'angle économique avec un niveau d'exigence technique plus faible. La dose d'azote est volontairement réduite au niveau de 80% de la dose appliquée sur la modalité Référence. Pour les produits phytosanitaires, ils sont moins coûteux mais leur utilisation est déterminée, tout comme la modalité référence, par la confrontation à des seuils et la mise en œuvre d'outils de pilotage.

- **Conduite "Faible pression d'intrants"** : la diminution des intrants est vue sous l'angle quantitatif avec un objectif de qualité de l'eau. La dose d'azote est volontairement réduite à hauteur de 60% de la dose appliquée sur la modalité Référence. Pour les produits phytosanitaires, ce sont essentiellement sur les produits herbicides que l'attention est portée. La technique du désherbage est mise en œuvre : désherbage uniquement sur le rang associée à du désherbage mécanique sur l'inter-rang.

### b) De 2011 à 2014

A partir de la campagne 2010-2011, des modifications ont été apportées au protocole pour prendre en compte les nouveaux éléments de contexte de la production agricole :

- le plan Ecophyto 2018, pour réduire et améliorer l'utilisation des produits phytosanitaires.
- le classement de certaines parties du territoire en zones vulnérables, pour lesquelles il faut notamment réduire l'impact du nitrate et développer la présence des CIPAN.
- le maintien des performances économiques des exploitations agricoles.
- la législation chrysomèle récemment mise en place pour essayer d'endiguer le développement de cet insecte ravageur des racines du maïs. Cette législation préconise aux agriculteurs de couper leur monoculture de maïs au moins une fois tous les 6 ans avec une culture d'une espèce différente.

Les modalités évoluent donc comme suit :

- **Conduite "Référence"** : même conduite que précédemment, en supprimant un apport d'azote au semis pour limiter l'exposition de l'engrais au lessivage. Les apports sont faits à 4-5 feuilles et à 8-10 feuilles, localisés en surface. Les seuils d'intervention pour les produits phytopharmaceutiques et les outils de pilotage restent les mêmes.

- **Conduite "Non labour"** : la conduite en non labour a désormais un objectif de rendement qui lui est propre. Elle suit la nouvelle conduite référence pour le reste des interventions. Les modalités d'apports sont les mêmes que pour la Référence : 4-5 f. puis 8-10 f.

- **Conduite "Faible pression d'intrants"** : la diminution des intrants est vue sous l'angle quantitatif avec un objectif de qualité de l'eau et de diminution de l'IFT de 50% par rapport à la référence régionale. La dose d'azote est maintenant réduite à hauteur de 80% de la dose appliquée sur la modalité Référence. Cette fertilisation se fait sous forme d'un apport unique enfoui avec un localisateur pour améliorer l'efficacité de l'engrais.

La **conduite Economique** est modifiée et devient :

- Conduite **Coupure Monoculture (CM)** : cette modalité est destinée à mesurer l'impact d'une coupure de la monoculture par un blé suivi d'une CIPAN (vesce + avoine) sur les volets azote et phytosanitaire. Cette conduite sera optimisée et raisonnée sur les mêmes bases que celles qui guident la conduite Référence. En 2010-2011, un blé a été implanté suivi de 3 maïs en 2012, 2013 et 2014.

L'effet comparé de ces 4 modalités est observé au travers des mesures de fuites du nitrate et de matières actives phytosanitaires. Les parcelles sont équipées de dispositifs de mesures (voir Figure 5 ci-avant) : chaque modalité dispose de 2 lysimètres.

La parcelle élémentaire est un carré de 36 m sur 36 m, soit 1 188 m<sup>2</sup>, une fois le passage d'irrigation central (3 m x 36 m) ôté il y a 2 répétitions.

### **Espace "Rotation quadriennale"**

Cet espace accueille une rotation de 4 cultures. A chaque campagne, toutes les cultures de l'essai sont présentes, chacune sur une des 4 parcelles dont dispose l'essai. Ceci permet donc d'obtenir un suivi pluriannuel de chaque culture. Deux types de rotation se sont succédés au cours des 8 ans d'expérimentation.

**a) De 2007 à 2010** la rotation s'établit comme suit : maïs grain – pois puis féverole - blé tendre d'hiver – tournesol, soit 2 céréales, 1 protéagineux et 1 oléagineux.

Remplacement de la culture de pois : le pois était initialement prévu comme protéagineux dans la rotation. A l'automne 2007 (première campagne de l'essai) des analyses de sol ont révélé la présence d'*Aphanomyces euteiches*, parasite racinaire du pois, interdisant de fait cette culture sur l'essai pour plusieurs années. Le pois a donc été remplacé par la féverole. Cette culture, une légumineuse comme le pois, présente l'avantage de pouvoir s'insérer dans la rotation sans la perturber et d'offrir une date de récolte suffisamment précoce pour l'implantation d'une CIPAN.

**b) De 2011 à 2014** la rotation change et devient : maïs grain - tournesol - blé - soja.

Le soja remplace la féverole car celle-ci est peu cultivée en Rhône-Alpes et le pois n'est toujours pas envisageable sur le dispositif à cause de l'*Aphanomyces*.

Cette nouvelle culture permet d'acquérir de nouvelles données sur les bilans azotés et sur l'exposition aux transferts du nitrate. Elle offre la possibilité d'utiliser de nouvelles substances actives et d'étudier leur comportement vis-à-vis des transferts.

Chacune de ces parcelles est subdivisée en deux conduites : huit modalités sont donc définies.

Les deux conduites sont libellées ainsi :

- **Conduite "Référence"** : conduite représentative des pratiques des agriculteurs, chaque technique culturale est décidée après réalisation d'observations confrontées à des seuils et après mise en œuvre d'outils de pilotage. Le sol reste nu pendant l'interculture.

- **Conduite "Couverture du sol"** : comme dans la conduite précédente, chaque technique culturale est décidée après réalisation d'observations confrontées à des seuils et après mise en œuvre d'outils de pilotage. Mais il y a ajout et modification de certaines techniques : chaque interculture fait l'objet d'une implantation de culture intermédiaire "piège à nitrate" (CIPAN), le choix des produits phytosanitaires intègre le grammage des matières actives, leur mobilité et leur période d'application, leur quantité est réduite grâce à la mise en œuvre de solutions telles que le désherbage sur le rang complété par le binage.

Chaque modalité est équipée de 2 lysimètres dans chaque culture.

Chaque parcelle, consacrée à 1 culture, fait 36 m sur 108 m avec un passage d'enrouleur d'irrigation central de 3 m sur 108 m. Chaque modalité dispose donc de 16.5 m sur 108 m, une fois le passage d'enrouleur ôté soit 1 782 m<sup>2</sup>.

Il n'y a pas de répétition.

Le choix des CIPAN est le suivant :

- De 2007 à 2010 :
  - entre maïs et féverole : blé tendre
  - entre féverole et blé : colza
  - entre blé et tournesol : ray-grass
  - entre tournesol et maïs : colza
- De 2011 à 2014 :
  - entre soja et maïs : colza
  - entre maïs et tournesol : avoine d'hiver
  - entre tournesol et blé : vesce-colza avec une implantation en juin sous couvert de la culture
  - entre blé et soja : avoine de printemps

Ces CIPAN ont été choisies en fonction des dates d'implantation possibles, des cultures présentes dans la rotation (alternance des familles botaniques, effet de la culture précédente, effet de la CIPAN sur la culture suivante) et des cultures les plus utilisées dans la région.

### **Dispositif "Couvert permanent"**

Cette partie du dispositif est en jachère composé de Ray-grass et fétuque. Cette jachère est entretenue par broyage dont les résidus sont restitués au milieu. Il n'y a donc aucune exportation, et donc aucune production sur cette parcelle. Aucun apport d'azote, d'eau, ou de produits phytosanitaires n'est réalisé. Cette modalité est équipée de 2 lysimètres.

En résumé :

- 13 modalités comparées,
- en taille, petite parcelle agricole,
- 2 cases lysimétriques par modalité pour mesurer les lames d'eau et les flux d'azote et de SA phytosanitaires.

*Détail de l'occupation des sols au cours des 8 ans en annexe 3*

Figure 6 - Récapitulatif des successions culturales de l'essai

	ROTATION QUADRIENNALE												MONOCULTURE MAÏS			
	Parcelle 1		Parcelle 2		Parcelle 3		Parcelle 4		Référence	Non Labour	FPI	ECO- CM				
	REF	COUV.	REF	COUV.	REF	COUV.	REF	COUV.								
Récolte	2006	POIS	BLE	TOURNESOL	TOURNESOL	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS					
Interculture	2006-2007	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Ray grass hyb. Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Blé Sol nu	Sol nu Ray grass ita. Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu					
Récolte	2007	BLE	TOURNESOL	MAÏS	MAÏS	Blé Sol nu	POIS	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS					
Interculture	2007-2008	Sol nu Ray grass hyb. Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Blé Sol nu	Sol nu Blé Sol nu	Sol nu Blé Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu					
Récolte	2008	TOURNESOL	MAÏS	FEVEROLE	FEVEROLE	MAÏS	BLE	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS					
Interculture	2008-2009	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Blé Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Blé Sol nu	Sol nu Ray grass hyb. Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu					
Récolte	2009	MAÏS	FEVEROLE	BLE	BLE	MAÏS	TOURNESOL	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS					
Interculture	2009-2010	Sol nu Blé Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Ray grass hyb. Sol nu	Sol nu Ray grass hyb. Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu					
Récolte	2010	FEVEROLE	BLE	TOURNESOL	TOURNESOL	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS					
Interculture	2010-2011	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Ray grass hyb. Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Avoine hiver Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu					
Récolte	2011	MAÏS	SOJA	BLE	BLE	MAÏS	TOURNESOL	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS		BLE			
Interculture	2011-2012	Sol nu Avoine hiver Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Avoine prtps Sol nu	Sol nu Avoine prtps Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Vesce + Colza Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu		Avoine prtps + vesce			
Récolte	2012	TOURNESOL	MAÏS	SOJA	SOJA	MAÏS	BLE	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS					
Interculture	2012-2013	Sol nu Vesce + Colza Sol nu	Sol nu Avoine hiver Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu Avoine strigosa Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu					
Récolte	2013	BLE	TOURNESOL	MAÏS	MAÏS	MAÏS	SOJA	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS					
Interculture	2013-2014	Sol nu Avoine strigosa Sol nu	Sol nu Vesce + Colza Sol nu	Sol nu Avoine hiver Sol nu	Sol nu Avoine hiver Sol nu	Sol nu Avoine hiver Sol nu	Sol nu Colza Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu	Sol nu					
Récolte	2014	SOJA	BLE	TOURNESOL	TOURNESOL	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS	MAÏS					

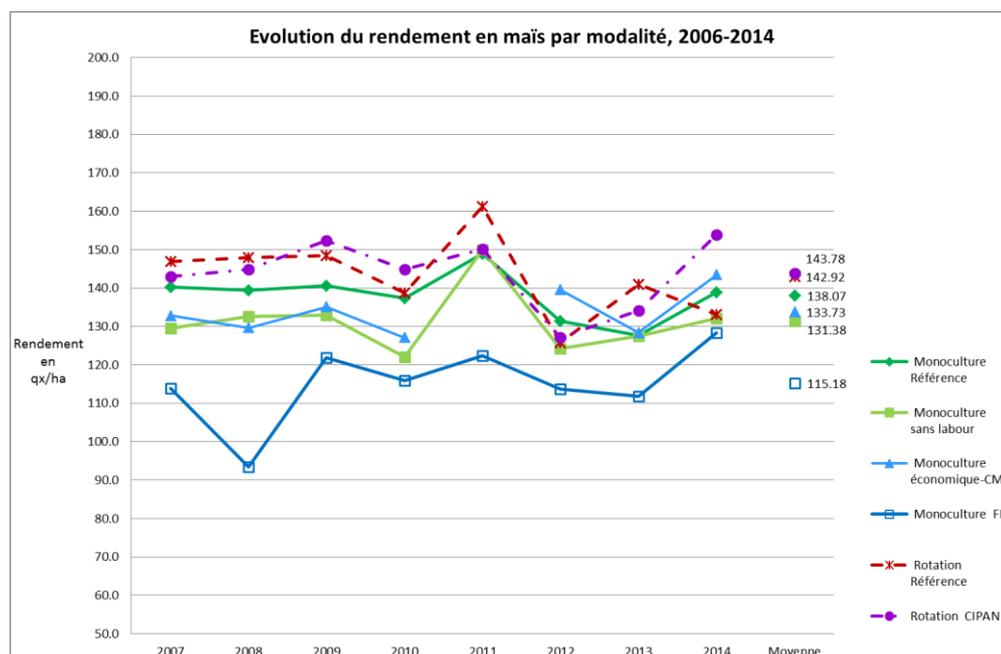
### 2. 3. Résultats agronomiques des différents systèmes

Pour compléter l'analyse des différents systèmes étudiés, un suivi des performances agronomiques a été réalisé. Les différents indicateurs de ces performances permettent d'aborder une dimension plus globale de chacun des systèmes et de remettre en perspective les résultats obtenus concernant les transferts.

La Figure 7 ci-après représente l'évolution des rendements en maïs pour chaque modalité. Les niveaux de rendement sont globalement élevés avec un écart assez marqué pour la modalité Faible Pression d'Intrants, qui reste en-deçà des autres systèmes. En effet, pour cette modalité, la dose d'azote était diminuée de 60% puis de 80% par rapport à la dose de la référence. Il est donc difficile de diminuer significativement la dose d'azote apportée sans pénaliser le rendement. D'autre part, on observe que les rendements des maïs en rotation sont légèrement supérieurs à ceux des modalités référence et non labour de la monoculture de maïs, comme cela est régulièrement constaté par ailleurs sur d'autres sites expérimentaux.

Les objectifs de rendement en maïs étaient de 147 q/ha au début de l'essai puis autour de 140 q/ha sur la deuxième moitié de l'essai. En effet, la méthode de calcul des objectifs a évolué : initialement calculés sur la moyenne des 3 meilleurs rendements des 5 années précédentes, les objectifs de rendement correspondent maintenant à la moyenne des rendements sur les 5 dernières années, sans compter les valeurs extrêmes (moins bon et meilleur rendements des 5 ans), ce qui fait tendanciellement baisser le niveau d'objectif.

Figure 7 - Evolution du rendement en maïs par modalité (2006 à 2014)



On observe sur les figures Figure 8 et Figure 9 que les rendements des deux systèmes en rotation sont assez proches. Les doses d'azote étaient différentes pour la modalité couverture du sol, la présence des CIPAN ayant un impact sur l'azote disponible pour la culture suivante. On peut voir ici qu'elles ont été plutôt maîtrisées, les écarts entre les rendements étant assez faibles.

Figure 8 - Evolution des rendements des cultures de la rotation référence (2006 - 2014)

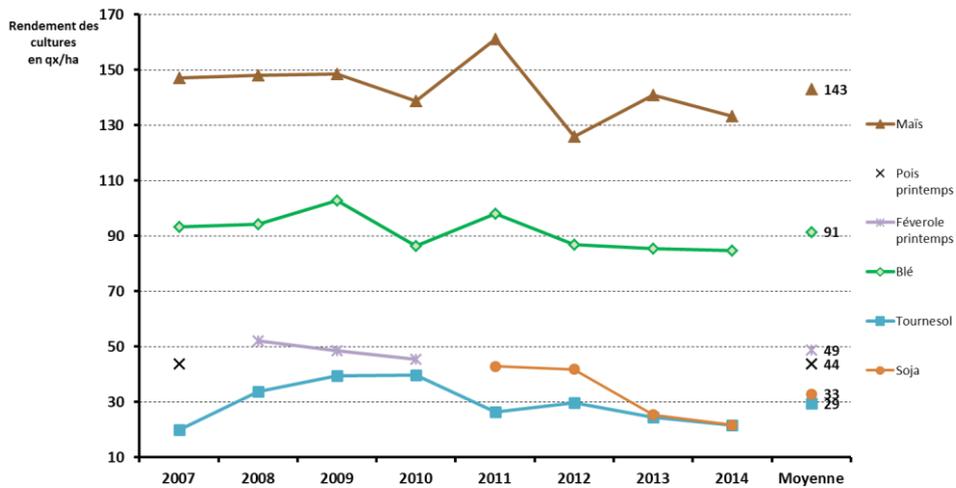
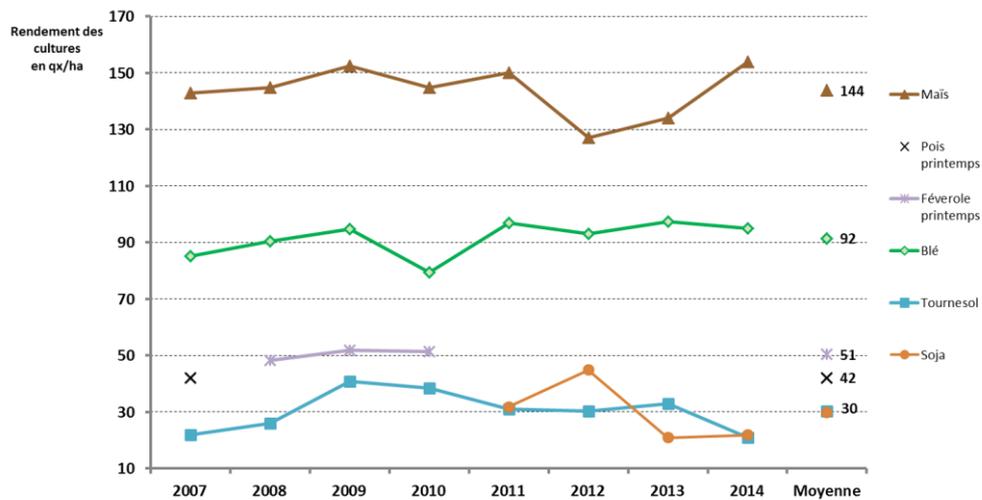
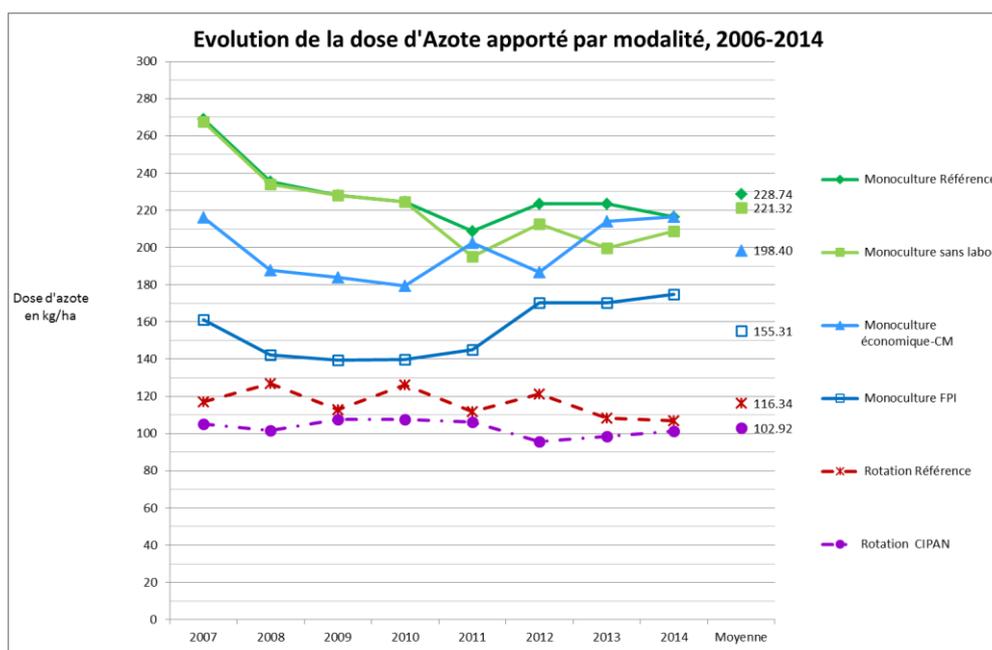


Figure 9 - Evolution des rendements des cultures de la rotation couverture du sol (2006 - 2014)



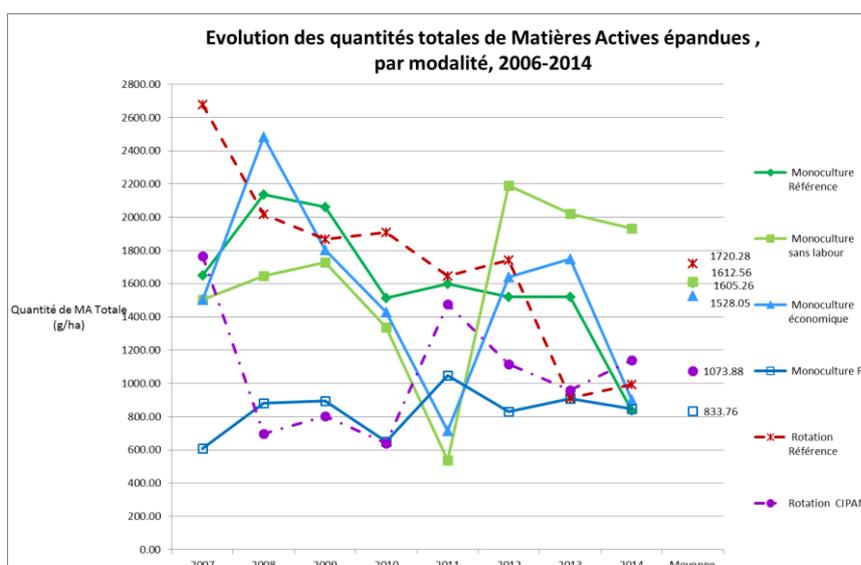
La Figure 10 ci-après représente l'évolution des doses d'azote apportées au cours de l'essai sur chacune des modalités. On peut voir ici l'impact de l'ajustement des calculs sur les premières années des modalités de la monoculture. A partir de 2011, les pratiques changent pour correspondre à de nouveaux enjeux et les doses des modalités FPI et ECO-CM sont revues à la hausse, ce qui explique cette remontée sur le graphique. Les doses apportées pour les deux systèmes en rotation sont restées relativement stables. La modalité avec CIPAN est légèrement inférieure à la référence, du fait de l'influence des CIPAN sur la fertilisation (qui reste relative selon les différents couverts).

Figure 10 - Evolution de la dose d'azote apporté par modalité (2006 - 2014)



La Figure 11 présente l'évolution des quantités totales de matières actives épandues sur chacune des modalités. Les traitements contre la chrysomèle ont impliqué des épandages très importants d'insecticide dans les premières années des modalités monoculture de maïs. On observe cependant une tendance à la diminution des quantités épandues, pour toutes les modalités. Les trois dernières années présentent des résultats un peu plus erratiques, notamment pour les modalités Monoculture Non Labour et Eco-CM qui ont été confrontées à des problèmes de désherbage par la présence de vivaces (liseron). De plus, les conditions climatiques des dernières années, et en particulier 2012, ont générés une pression plus forte des maladies, adventices et ravageurs entraînant une nécessité d'action plus importante. Les quantités appliquées restent moindres par rapport aux premières années. Les pratiques ont évoluées, tout comme la fertilisation azotée, vers des interventions plus adaptées et plus précises.

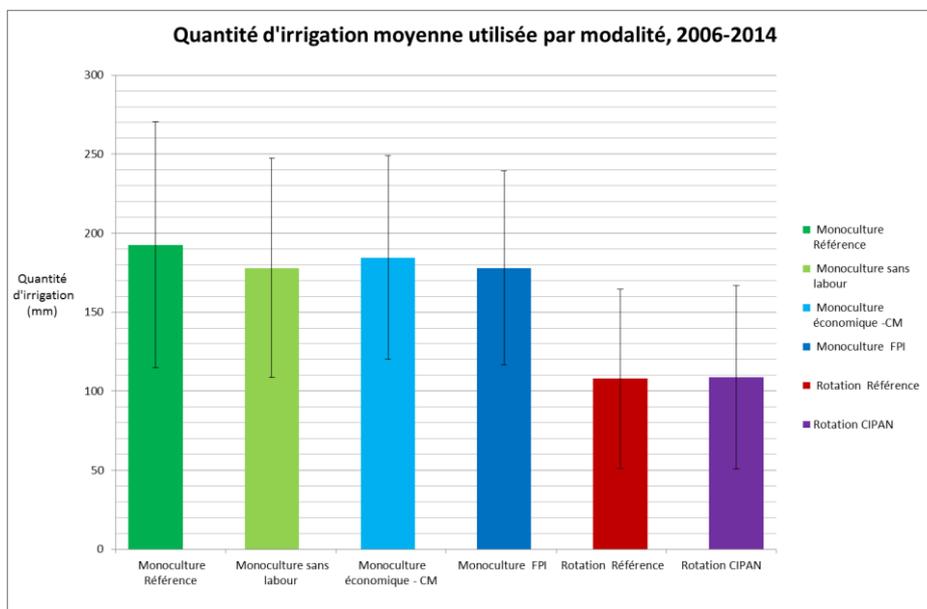
Figure 11 - Evolution des quantités totales de Matières Actives épandues, par modalité, 2006-2014



Enfin, la Figure 12 suivante représente la quantité moyenne d'irrigation appliquée sur chaque modalité. La quantité d'irrigation des deux parcelles en rotation est inférieure à celle des modalités monoculture, car elles disposent d'autres cultures irriguées que le maïs.

Les niveaux de rendements élevés de l'essai s'expliquent en partie par l'irrigation et sa gestion. En effet, sur des sols très filtrants comme ceux de l'essai, l'irrigation joue un rôle essentiel pour atteindre des niveaux de rendements satisfaisants et améliorer l'efficacité des interventions.

Figure 12 - Quantité d'irrigation moyenne utilisée par modalité (2006 -2014)



#### 2. 4. Description du système de recueil des eaux d'infiltration

Les instruments de mesures des transferts d'eau verticaux sont des lysimètres ouvertes (cf. photo).

Figure 13 - Photo d'une plaque lysimétrique en cours d'installation

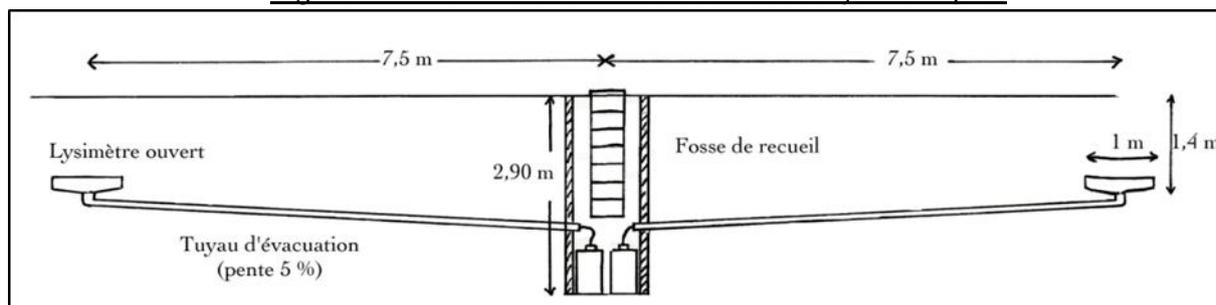


Ces plaques lysimétriques d'une surface de 1 m<sup>2</sup> sont enterrées à 1.40 m de profondeur sous la rhizosphère. Cela permet l'intervention des engins agricoles sans gêne et ainsi de se placer dans une pratique comparable à une situation agricole de plein champ.

Chaque case est relié à un bidon de recueil des eaux d'infiltration par l'intermédiaire de tuyaux PVC de 125 mm de diamètre avec une pente suffisamment forte pour éviter tout risque de dépôt.

Les fosses de recueil des eaux sont situées dans des allées de circulation ne gênant en rien les pratiques culturales.

Figure 14 - Plan installation de deux cases lysimétriques



Le lysimètre présente l'avantage de pouvoir collecter l'eau, mesurer les volumes percolés, et après analyse d'un échantillon, de pouvoir quantifier les flux de nitrate et de substances actives qui migrent au-delà des racines des plantes cultivées vers la ZNS puis la nappe.

### 2. 5. Protocole de l'essai – procédure de prélèvement

L'étude est menée sur une parcelle de la station du CREAS (Centre Régional d'Expérimentation Agricole Saint-Exupéry).

Afin de répondre aux questions posées par cette étude, 2 grands types de mesures ont été réalisés au cours de l'expérimentation :

Des mesures relevant du suivi des cultures (stades, composantes, récolte, qualité). Ces mesures permettent entre autre de réaliser des analyses plus technico-économiques sur chaque modalités, à prendre en compte dans les futures préconisations

Des mesures spécifiques au thème de l'étude : lame d'eau, teneur en azote et résidus phytopharmaceutiques, termes du bilan azoté (fournitures par le sol, azote absorbé par la culture, profils d'azote dans le sol). Les mesures de lame d'eau et de teneur se font à partir d'échantillon prélevés sur les cases lysimétriques, dont la procédure de prélèvement est explicitée ci-après. Les échantillons sont ensuite analysés par le laboratoire.

#### a) Suivi des cultures :

- Maïs :
  - Dates des stades : levée, floraison femelle, grain à 45 % humidité.
  - Comptages : plantes, épis.
  - Mesures tensiométriques (pour la conduite de l'irrigation).
  - Rendement à 15 % humidité, humidité, poids de 1000 grains.
  - Teneur en azote des grains.
  
- Soja :
  - Dates des stades : levée, début floraison, stade limite d'avortement.
  - Comptages : plantes.
  - Mesures tensiométriques
  - Rendement à 14 % humidité, humidité, poids de 1000 grains.
  - Teneur en azote des grains.

- Blé :
  - Dates des stades : levée, épi à 1 cm, épiaison.
  - Comptages : plantes, épis.
  - Mesures N-Tester®.
  - Mesures tensiométriques.
  - Rendement à 15 % humidité, humidité, poids de 1000 grains.
  - Teneur en azote des grains, poids spécifique.
  
- Tournesol :
  - Dates des stades : levée, E1 (bouton étoilé), F1 (début floraison), F4 (fin floraison). M3 (maturité physiologique).
  - Comptages : plantes.
  - Mesures tensiométriques.
  - Rendement à 9% humidité + 2% d'impuretés, humidité, poids de 1000 grains.
  - Teneur en huile, teneur en azote des grains.
  
- Féverole:
  - Dates des stades : levée, début floraison, stade limite d'avortement.
  - Comptages : plantes.
  - Mesures tensiométriques
  - Rendement à 14 % humidité, humidité, poids de 1000 grains.
  - Teneur en azote des grains.
  
- Toutes cultures, CIPAN et couvert permanent :
  - Efficacité des interventions et problèmes éventuels (taux de salissement, notations maladies, dégâts de ravageurs).
  - Enregistrements des itinéraires techniques.

#### **b) Mesures spécifiques à l'essai :**

##### **• Azote :**

L'objectif des mesures des quantités d'azote mises en jeu est de réaliser des bilans d'azote à des dates clefs, afin d'améliorer la fertilisation azotée. La réalisation de ces bilans nécessite qu'une partie de chaque parcelle ne soit pas fertilisée : c'est le « témoin zéro azote ».

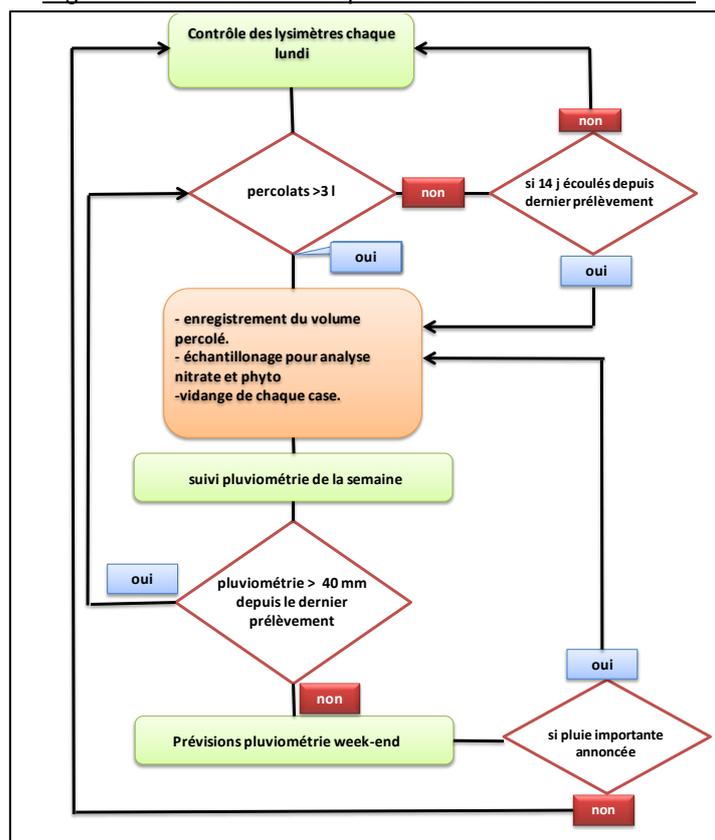
- Quantité d'azote minéral dans le sol.
  - Dates en parcelles fertilisées.
    - Récolte de la culture.
    - Date de destruction des CIPAN.
    - Sortie hiver (blé), semis (soja, maïs, tournesol).
    - Fin de la période de drainage hivernal (blé).
  - Date en témoin 0 azote : récolte de la culture (maïs, blé, tournesol).
  - Dates en couvert permanent.
    - Fin de la période de drainage hivernal.
    - A chaque broyage.
    - Début de la période hivernale de drainage.
  
- Quantité d'azote absorbé par les cultures en fin de cycle.
  - Maïs
  - Soja
  - Blé

•Tournesol

- Quantité d'azote absorbé par le blé en sortie d'hiver et en fin de période de drainage.
- Quantité d'azote fourni par le sol : mesure de l'azote absorbé par les cultures en l'absence d'apport d'azote (témoin 0 azote).
  - Maïs
  - Blé
  - Tournesol
- Quantité d'azote absorbé par les CIPAN avant leur destruction : 9 placettes de 2 rangs sur 1 m (ou de 0.25 m x 0.25 m si semis à la volée).
- Biomasse et azote absorbé à chaque date de profil azote sur la modalité "Couvert permanent" : pesée des parties aériennes sur 9 placettes de 0.25 m x 0.25 m, prélèvement d'échantillons pour évaluation de la teneur en matière sèche et en azote.

• **Procédure de prélèvement d'eau dans les lysimètres :**

Figure 15 - Procédure de prélèvement des échantillons



**Mesure des entrées et sorties d'eau :**

Le contrôle des écoulements est effectué toutes les semaines, et les volumes percolés sont notés et enregistrés : chaque case faisant 1 m<sup>2</sup>, chaque litre collecté correspond à 1 mm de hauteur d'eau, ce qui facilite la comparaison avec les enregistrements de la pluie.

#### **Les entrées d'eau sont également contrôlées :**

La pluie est mesurée en continu grâce à un pluviomètre enregistreur positionné sur le site expérimental ;

Les apports d'irrigation sont mesurés grâce à un réseau de pluviomètres à lecture directe, installés à raison de 2 pluviomètres par case lysimétrique pendant la période d'irrigation des cultures.

#### **Echantillonnage de l'eau :**

En cas d'écoulement, des échantillons d'eau sont collectés et conditionnés dans trois flacons : 1 flacon de 100 ml pour le dosage du nitrate, 2 flacons de 1000 ml pour le dosage des résidus phytopharmaceutiques.

#### **Des échantillons sont également prélevés pour les entrées d'eau sur les parcelles de l'essai :**

Eau de pluie : une fois par mois, toute l'année.

Eau d'irrigation : une fois par mois pendant la période d'irrigation (avril à septembre).

Ces échantillons d'eau de pluie et d'irrigation sont conditionnés dans des flacons identiques à ceux utilisés pour les eaux de percolation (1 x 100 ml, 2 x 1000 ml).

#### **Conservation et analyse :**

Les échantillons sont congelés et conservés au froid négatif (-18°C) jusqu'à leur envoi au laboratoire d'analyse : le nitrate est dosé par le laboratoire AUREA, et les produits phytopharmaceutiques par le laboratoire GIRPA (coordonnées des 2 laboratoires ci-dessous).

GIRPA  
9, avenue du Bois l'Abbé  
Angers Technopole  
49071 BEAUCOUZE  
Tél : 02 41 48 75 70 – Fax : 02 41 48 71 40

AUREA  
270, avenue de la Pomme de Pin  
BP 10636-ARDON  
45166 OLIVET CEDEX  
Tél : 02 38 69 26 31 – Fax : 02 38 76 24 01

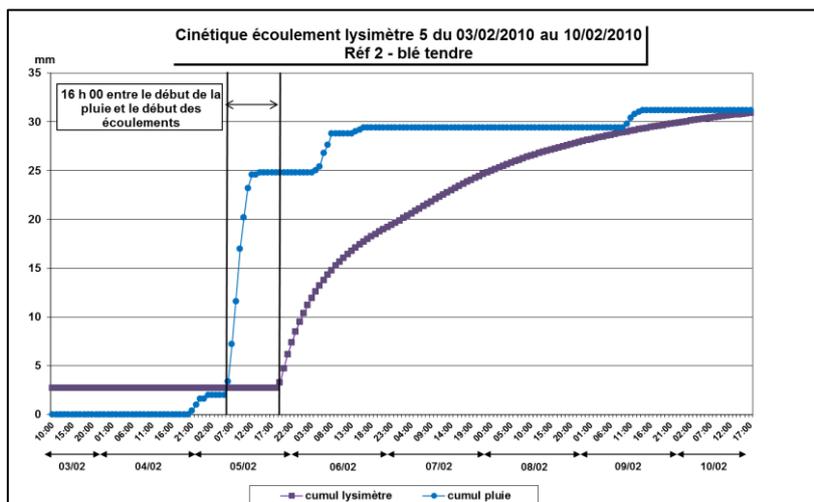
## *2. 6. Hydrologie du site*

### *2. 5. 1. Fonctionnement des écoulements*

Dans ce type de milieu, l'infiltration de l'eau à la surface du sol est très rapide. La percolation de l'eau vers les horizons profonds est également rapide, de quelques heures à un ou deux jours en général, lorsque le sol est à la capacité au champ (capacité de rétention maximale en eau du sol).

Une étude plus fine de la percolation, réalisée pour quelques lysimètres de l'essai, a permis de calculer le délai entre le début d'une pluie et les premiers percolats récoltés dans les lysimètres à 1,40 m de profondeur. La Figure 16 montre la cinétique d'écoulement du lysimètre 5 au 5 février 2010. Des mesures des quantités d'eau précipitées et percolées ont été faites simultanément pendant un épisode pluvieux. La courbe bleue correspond au cumul des pluies, la violette représente celui des écoulements. On observe qu'il ne faut que 16h00 après le début des pluies pour que le lysimètre récupère les premiers écoulements, preuve du caractère très filtrant des sols du site. Au bout de 5 jours, la quantité d'eau percolée atteint la quantité précipitée. Cela sous-entend que 100% du volume d'eau en entrée est retrouvé à la sortie du dispositif de collecte après un délai relativement court.

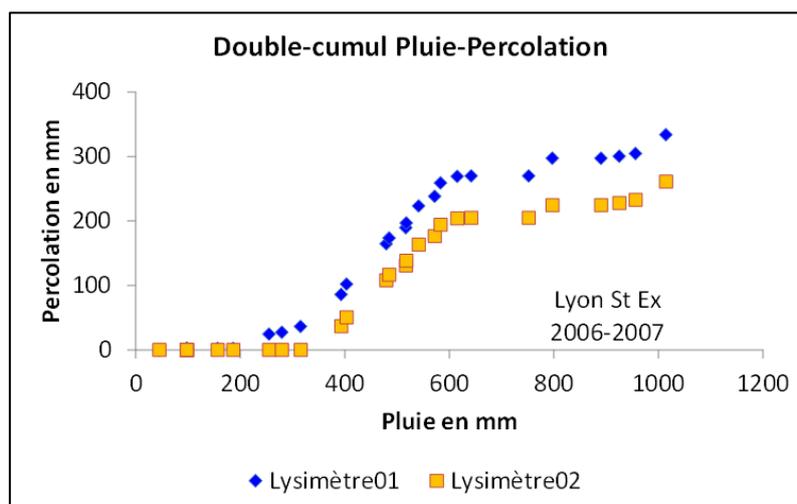
Figure 16 - Cinétique de percolation exemple du lysimètre 5 - février 2010



Les doubles-cumuls [Pluie-Lame d'eau] (cf.- Double cumul pluie et percolat : exemple lysimètre 1 et 2 campagne 2006/2007 Culture de blé - cumul du 04.07.2006 au 13.07.2007) montrent l'influence de la pluviosité sur la percolation annuelle. La forme des courbes est déterminée par le régime des pluies au cours de la campagne (durée et intensité des épisodes pluvieux). La lame d'eau est propre à chaque lysimètre et dépend des propriétés hydrodynamiques de chaque profil de sol.

La percolation de l'eau vers les nappes souterraines a lieu principalement en période d'excédent pluviométrique, en automne-hiver dans le contexte de Lyon Saint Exupéry. La période de drainage hivernal débute vers la mi-novembre pour se terminer vers la mi-mars. Les années pluvieuses (2012-2013) montrent des écoulements jusqu'en fin de printemps. Les écoulements d'été sont nuls à modérés, l'irrigation est bien valorisée par les cultures. Quelques percolats sont mesurés quand les volumes pluie + irrigation deviennent importants, lors d'un orage par exemple.

Figure 17 - Double cumul pluie et percolat : exemple lysimètre 1 et 2 campagne 2006/2007 Culture de blé - cumul du 04.07.2006 au 13.07.2007



Les lames d'eau moyennes varient en fonction des années en lien avec la pluviosité annuelle. Elles s'étalent de 250 à presque 600 mm et représentent entre 33 et 39% des quantités de pluie + irrigation.

Figure 18 - Lame d'eau moyenne annuelle sans les lysimètres du couvert permanent

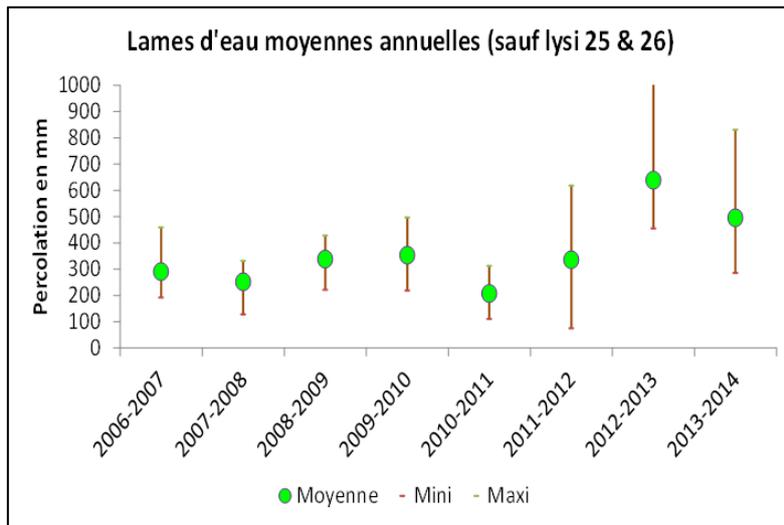
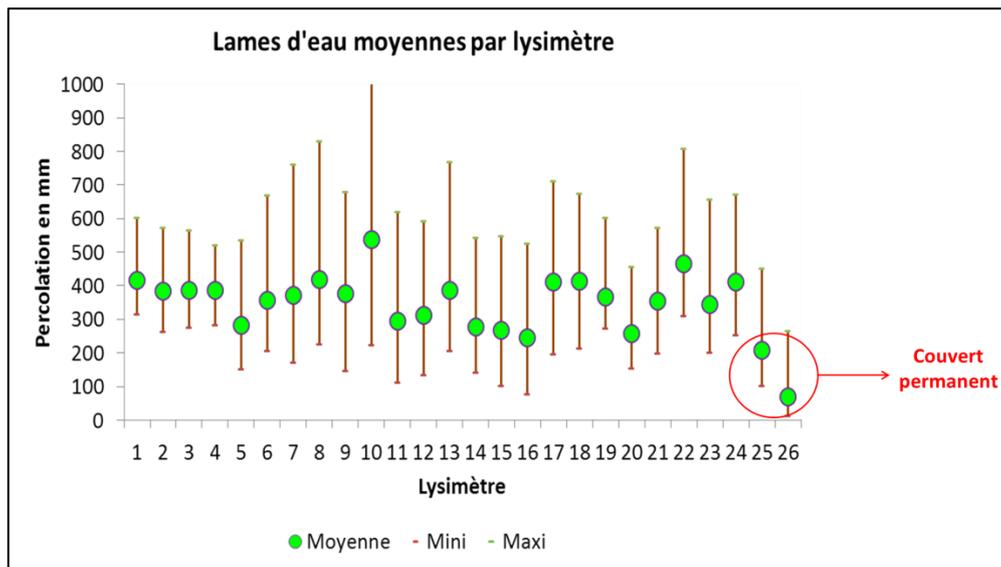


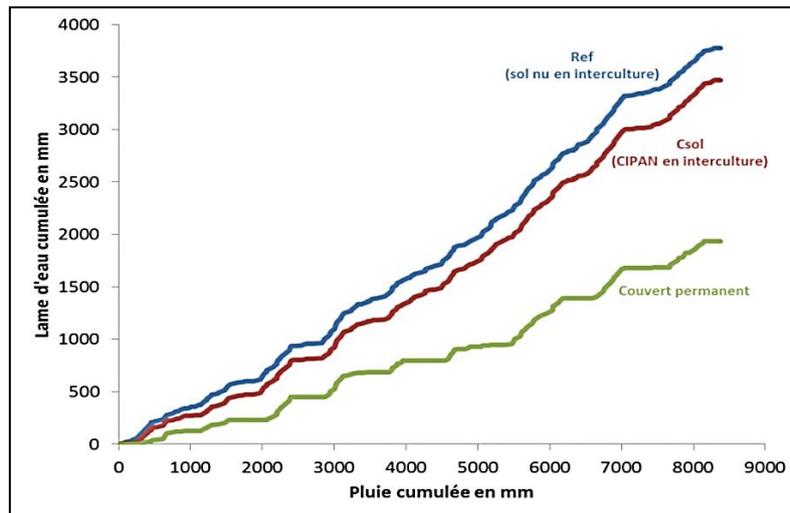
Figure 19 montre la variabilité des lames d'eau entre chaque lysimètre. Le point vert représente la lame d'eau moyenne par lysimètre ; les barres représentent leurs extrêmes. On observe ici que les lames d'eau moyennes du couvert permanent sont inférieures à celles des autres lysimètres.

Figure 19 - Lames d'eau moyenne par lysimètre



L'expérimentation montre que la présence d'une culture intermédiaire piège à nitrate (CIPAN) réduit les flux de drainage (cf. Figure 20). Entre une rotation qui intègre une culture intermédiaire et une autre avec un sol nu, un différentiel de 310 mm a été enregistré concernant le cumul de flux d'eau au cours des huit campagnes passées soit 38 mm/an. Les inter-cultures estivales (blé/soja, blé/tournesol ou féverole/blé) ont plus d'effet sur les flux de drainage car elles laissent la possibilité à la CIPAN de bien se développer, donc de consommer plus d'eau. Au final il faut retenir un écart de 11% de flux de drainage entre sol nu et CIPAN. Le couvert permanent qui consomme de l'eau tout au long de l'année marque beaucoup plus les niveaux de percolats avec une réduction de 45 % par rapport au sol nu. Cette eau prélevée par les couverts limite donc les flux de drainage mais limite aussi l'alimentation des nappes, pour une part non négligeable lorsqu'il s'agit d'un couvert permanent.

Figure 20 - Cumul lame d'eau de 2007 à 2014 en fonction des conduites de cultures



### 2. 5. 2. Mesure de traçage au bromure

Afin de caractériser et comprendre l'hydrologie locale et les transferts de soluté, une mesure de traçage au bromure de sodium a été réalisée en 2009/2010 sur deux lysimètres (9 et 13). Le traçage est réalisé avec du bromure de sodium appliqué à 20 grammes/m<sup>2</sup>. L'application a été effectuée le 26 novembre 2009 sur 2 lysimètres. La concentration en Br des eaux de percolation est mesurée de novembre 2009 à juillet 2010.

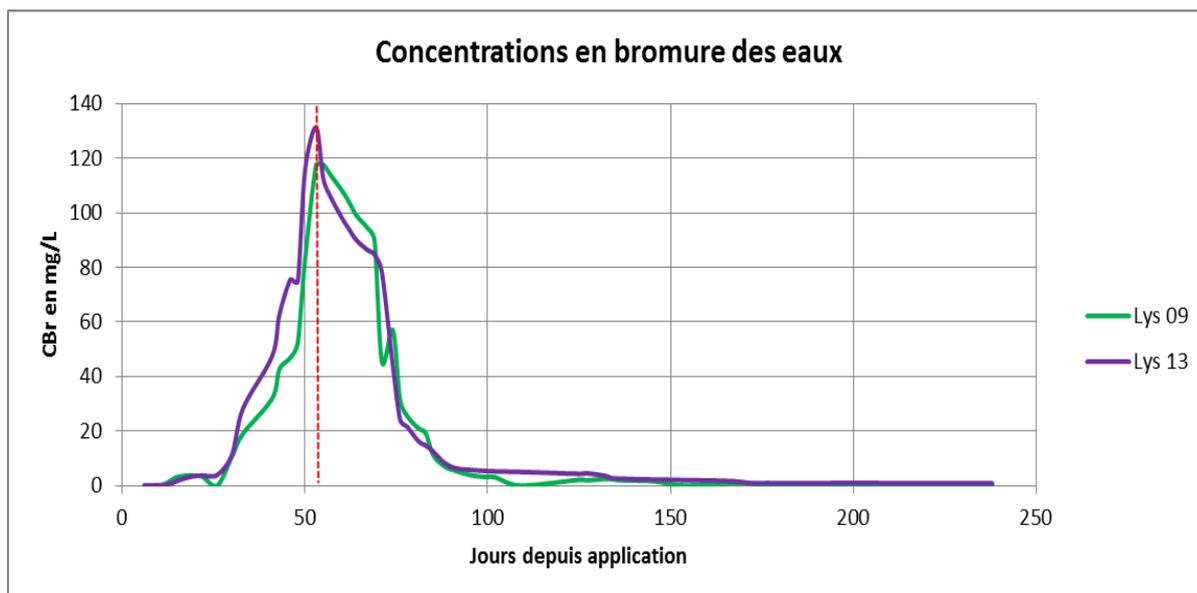
#### **Pic de concentration :**

Les premières traces de bromure apparaissent 11 jours après l'application.

Le pic est mesuré quasi simultanément pour les deux lysimètres : respectivement 53 et 55 jours après l'application pour L13 et L09.

La décroissance des teneurs est ensuite assez rapide pour les deux lysimètres, pour atteindre un niveau inférieur à 10 mg/L après 85 jours.

Figure 21 - Concentrations en bromure des eaux - Lys 9 et 13

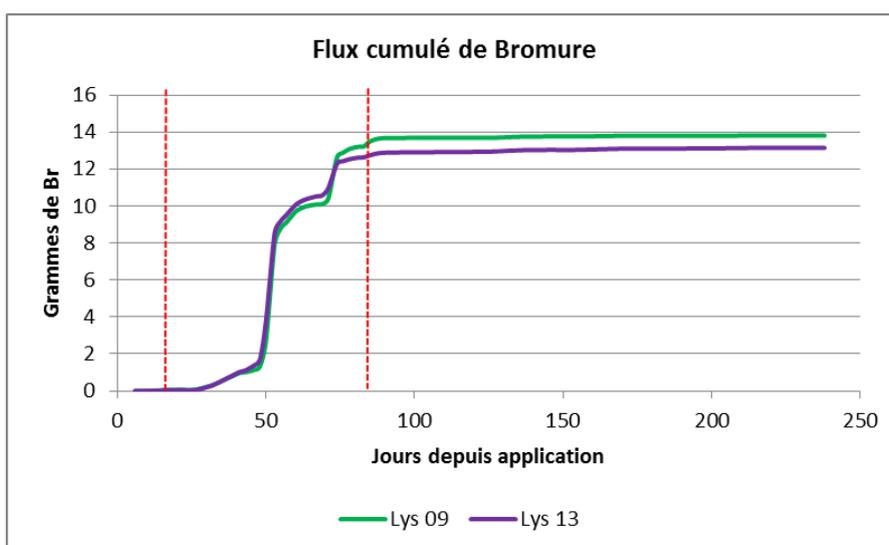


**Flux de bromure :**

La durée totale de l'épisode de traçage est d'environ 150 jours. Les premières détections du traceur apparaissent dès le 11ème jour, mais la majorité du transfert se produit entre les 30ème et 85ème jours, soit 55 jours. Les différences entre les deux lysimètres sont imputables à des variations des volumes percolés, mais les concentrations des eaux sont proches pendant toute la période de transfert du soluté.

Sur les 20 grammes injectés au-dessus des 2 lysimètres, les quantités transférées sont presque équivalentes avec respectivement 13,8 g (L09) et 13,2 g (L13), soit des taux de récupération de 69% et 66%.

Figure 22 - Flux cumulé de bromure



### **Dynamique d'entraînement :**

Après une phase d'amorce peu mobilisatrice, l'entraînement du bromure est soutenu et continu. Les deux courbes sont proches et parallèles, la pente est forte et traduit des teneurs élevées en bromure dans les eaux de percolation. Le changement de courbure annonce la fin de l'épisode de transfert avec la baisse des teneurs dans les eaux.

Les lames d'eau nécessaires au transfert de 95% du traceur sont légèrement différentes entre les deux lysimètres : respectivement 257 mm (L09) et 221 mm (L13). Elles peuvent être induites par les caractéristiques particulières de chaque lysimètre : taux de cailloux, densité du sol, organisation de la porosité (macro et microporosité), etc ...

La dynamique d'entraînement du traceur est néanmoins similaire pour les deux lysimètres.

### **Fonctionnement général du site expérimental :**

L'eau de pluie est rapidement infiltrée à la surface du sol. La percolation de l'eau vers la profondeur est assez rapide : globalement supérieure à 1 mètre par jour après le retour à la capacité au champ.

La lame d'eau moyenne interannuelle (2007 à 2014) est de 363 mm (200 à 640 mm), la variation étant due à des différences inter-annuelles de pluviosité.

Une saison hydrologique moyenne dure environ 17 semaines (de 13 à 21 semaines), soit autant d'échantillons par lysimètre et par année d'étude, la collecte des échantillons d'eau étant hebdomadaire.

Le traçage au bromure réalisé en 2009-2010 révèle qu'en cas de transfert d'un composé avec l'eau d'infiltration, le dispositif lysimétrique de Lyon Saint-Exupéry est bien adapté à capter ce transfert (concentration du soluté dans l'eau) et calculer le flux global annuel ou pluriannuel de ce soluté.

### 3. Présentation des résultats concernant les flux d'azote

#### 3. 1. Dynamique de l'azote sur une rotation quadriennale avec introduction de CIPAN

Au sein de la rotation quadriennale, le suivi des flux d'azote a permis d'évaluer l'effet des cultures intermédiaires sur les quantités lixiviées et sur la fourniture en azote pour la culture suivante. Les couverts utilisés sont principalement issus des familles graminées et crucifères. Quelques légumineuses (trèfle et vesce) ont été introduites en mélange à la fin de la rotation. Les quatre parcelles en rotation sont scindées en 2 parties. Les cultures sont identiques sur chacune d'entre elles, mais une moitié reçoit des couverts en interculture (modalité Couverture du sol), l'autre non (modalité Référence). Les couverts sont détruits de façon mécanique, conformément au cadre réglementaire local, soit en octobre pour une implantation de blé, soit en décembre ou mars pour les implantations de culture de printemps.

Rappel de la structure de la rotation :

Rotation 1 (2007-2010)

BLE	Cl ray grass hybride	TOURNESOL	Cl colza	MAÏS	Cl blé	FEVEROLE	Cl colza
-----	----------------------	-----------	----------	------	--------	----------	----------

Rotation 2 (2011 – 2014)

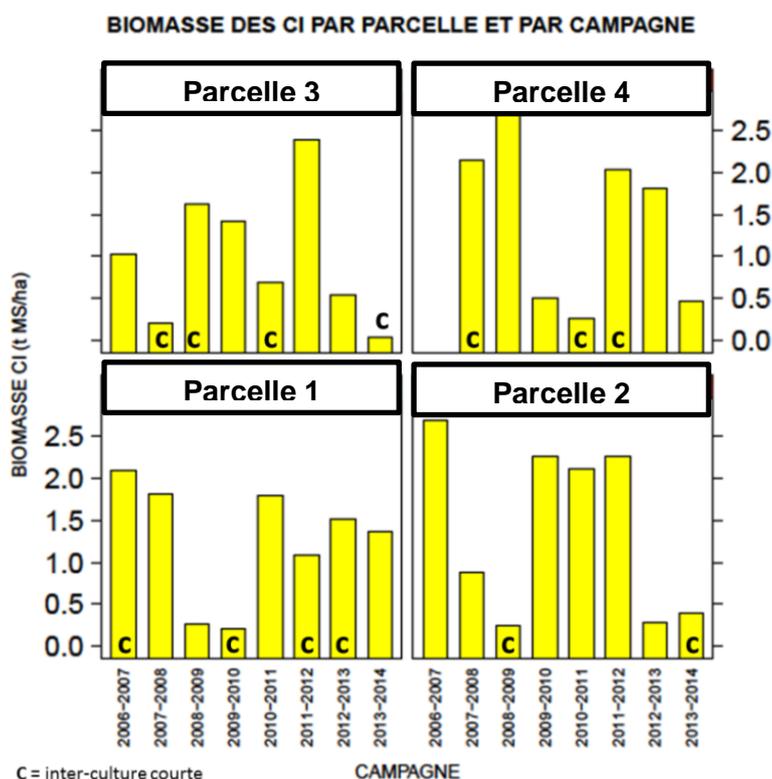
MAÏS	Cl avoine d'hiver	TOURNESOL	Cl vesce+colza	BLE	Cl avoine strigosa ou de printemps	SOJA	Cl colza
------	-------------------	-----------	----------------	-----	------------------------------------	------	----------

#### 3. 1. 1. Croissance et teneur en azote (azote absorbé) des couverts intermédiaires

Leur production de biomasse aérienne a été mesurée chaque année au moment de la destruction par labour.

Sur les 8 campagnes de suivis, le niveau de croissance a atteint en moyenne 1.3 tonnes de matière sèche par hectare. Cette donnée masque des hétérogénéités annuelles (cf. Figure 23). Les biomasses oscillent entre une production très faible, proche de 0 t MS/ha et 2.6 t MS/ha.

Figure 23 - Niveau de croissance des couverts intermédiaires



*Légende des graphiques*

Les graphiques qui suivent ont une construction identique. Chaque cadre représente les données synthétisées pour chacune des parcelles.

Le chiffre ou les lettres dans le cadre rouge indiquent le nom de la parcelle.

L'axe des abscisses se lit à l'horizontale. Celui des ordonnées, se lit ou à droite ou à gauche.

Ils sont communs aux 4 encarts.

Les facteurs explicatifs des variations du niveau de croissance sont divers.

Les couverts ne sont pas tous implantés aux mêmes périodes et n'ont donc pas tous les mêmes conditions de développement.

- Les couverts implantés pendant l'été ont des conditions de levée parfois difficiles du fait des stress hydriques estivaux qui peuvent être importants. En revanche, ils bénéficient d'une implantation plus longue que les couverts semés plus tard et ont montré au cours de l'essai une meilleure croissance.

- Les couverts implantés tardivement, notamment derrière un tournesol ou un maïs, ont des intercultures plus courtes, réduisant leur possibilité de développement.

- Enfin, l'analyse de la biomasse aérienne de ces couverts montre qu'ils sont régulièrement en carence azotée. Le stress provoqué par la faible quantité d'azote disponible dans le sol limite aussi leur croissance.

Les Figure 24 et Figure 25 montrent que la biomasse aérienne produite est aussi liée à l'espèce. Par exemple, l'avoine Strigosa de la rotation 2 bénéficiait d'une durée d'implantation plus longue que les autres cultures (implantée fin juillet et détruite fin février) mais n'a pas produit le plus de biomasse. L'avoine de printemps, quant à elle, a été implantée sur des périodes plus courtes (de fin juillet à début décembre) mais a produit plus de biomasse que les autres cultures.

Figure 24 - Biomasse moyenne (T/ha) par type de CIPAN

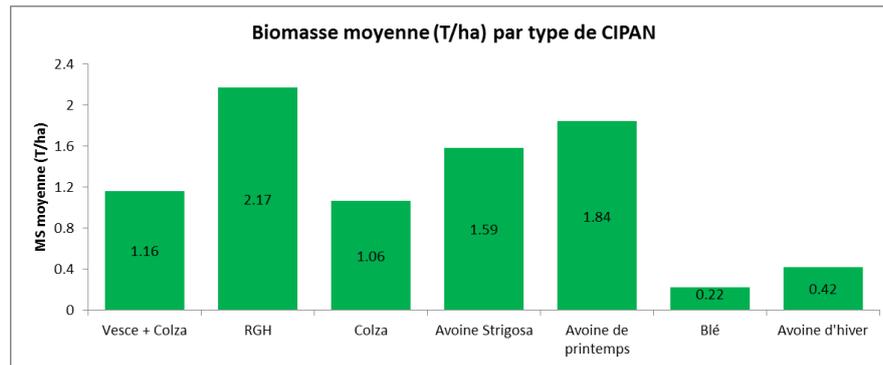
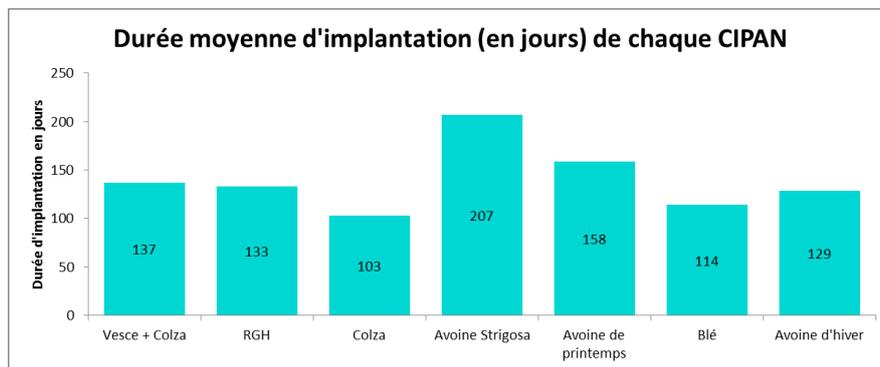


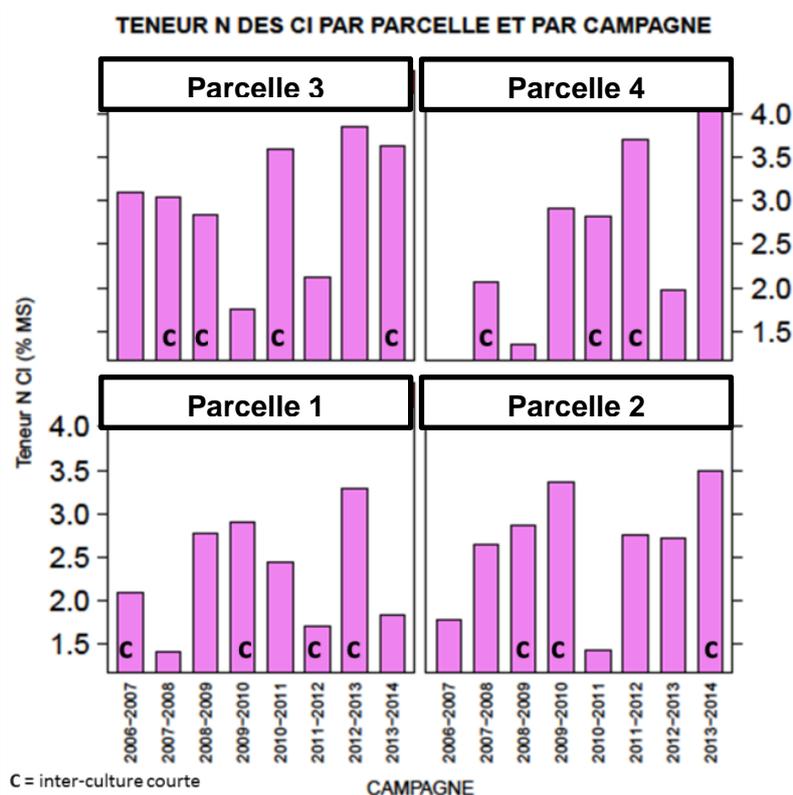
Figure 25 - Durée moyenne d'implantation (en jours) de chaque CIPAN



Au moment de la destruction du couvert, des prélèvements de biomasse sont analysés pour évaluer leur teneur en azote total. Cela permet de calculer la quantité d'azote absorbé par les plantes dans la biomasse aérienne.

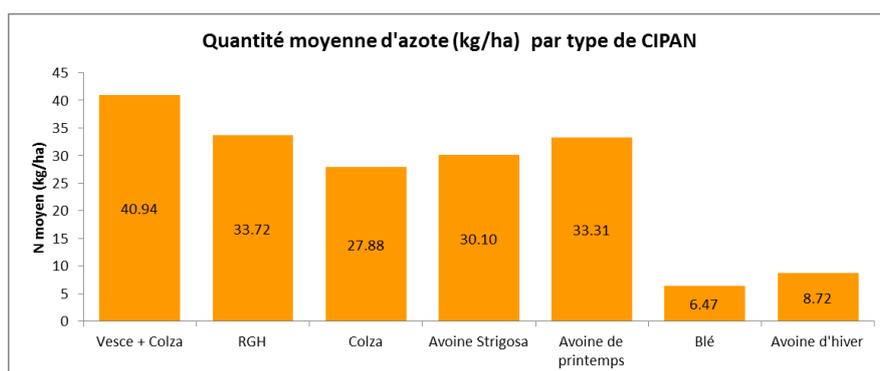
La figure suivante montre la variabilité des teneurs en azote dans l'appareil végétatif. Les valeurs vont de 1 % à 4 %. En moyenne (sur toutes les parcelles et sur les 8 années d'études) la teneur en azote des parties aériennes des couverts est de 2.7 %. Bien que ces teneurs soient relativement élevées, elles sont en bonne corrélation avec les biomasses mesurées. Il y a un phénomène de concentration de l'azote dans une faible quantité de végétal.

Figure 26 - Teneur en azote des cultures intermédiaires par parcelle et par campagne



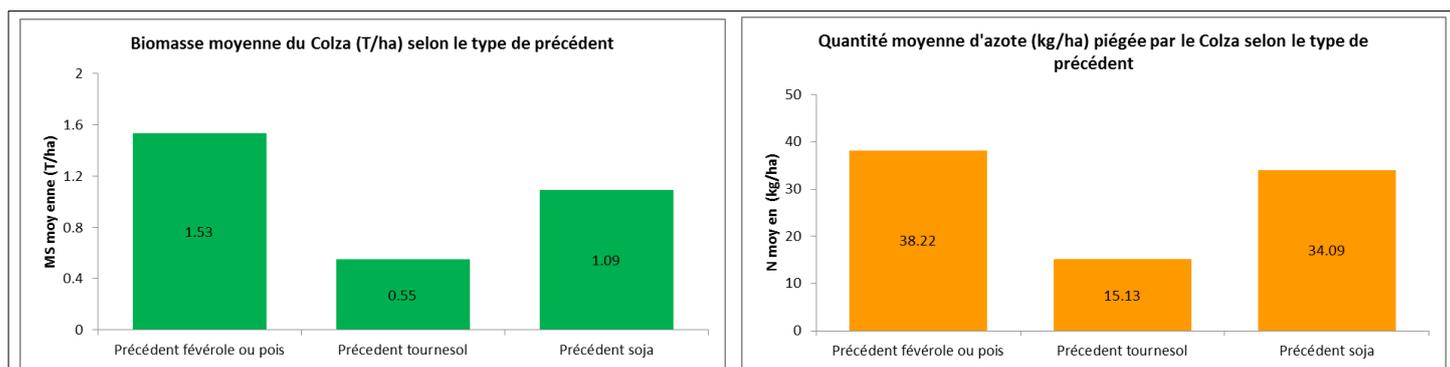
La Figure 27 montre les quantités moyennes d'azote absorbé par les cultures intermédiaires. De façon générale, plus la CIPAN sera développée, plus elle aura capté de l'azote, mais cette quantité reste dépendante de la capacité de prélèvement de la plante. En effet, on observe une variabilité de ces quantités d'azote absorbé qui n'est pas forcément corrélée avec celle des biomasses (cf. Figure 24). Le Colza par exemple, qui produit une biomasse moins importante que l'avoine Strigosa absorbe pourtant autant d'azote que cette dernière, en étant implanté moins longtemps.

Figure 27 - Quantité moyenne d'azote (kg/ha) par type de CIPAN



La Figure 28 montre que pour une même culture intermédiaire, la quantité de biomasse produite et d'azote absorbé varient aussi en fonction du précédent cultural. En effet, le précédent cultural va avoir un effet sur la quantité d'azote disponible dans le sol une fois récolté. C'est cette quantité d'azote disponible pour la CIPAN qui va impacter son développement et donc la quantité d'azote qu'elle sera susceptible d'absorber.

Figure 28 - Biomasse et quantité d'azote moyenne du colza selon le type de précédent



Ainsi l'efficacité d'une CIPAN va dépendre de sa nature même (potentiel de croissance, capacité d'absorption de l'azote...), des conditions de son développement (climat, date de semis, durée d'implantation...) et du précédent cultural. De façon générale, les quantités d'azote absorbé et la matière sèche produite sont relativement faibles, reflète du contexte de production (date d'implantation, disponibilité de l'azote etc...) et de la nature même des CIPAN (majoritairement graminées et crucifères). Un tableau récapitulatif des biomasses de chacune des CIPAN de l'essai est disponible en annexe 4.

### 3. 1. 2. Effet des CIPAN sur la lixiviation du nitrate

La lixiviation du nitrate intervient lorsqu'il est présent en quantité dans le sol, qu'il y a suffisamment d'eau pour qu'il rentre en solution, et que la lame drainante l'entraîne en profondeur avant que des racines ne le captent. L'objectif des couverts intermédiaires est de réduire les pertes de nitrate vers la nappe phréatique en couvrant le sol durant la période hivernale (lorsque rien ne pousse entre deux cultures et que le sol est à la capacité au champ).

L'effet des couverts est double. Il réduit à la fois les quantités d'eau drainées ainsi que leur concentration en nitrate.

#### 3. 1. 2. 1. Démarche analytique et exemple de résultats obtenus.

A chaque prélèvement de percolat, les quantités d'eau écoulée par lysimètre sont répertoriées. A partir de ces quantités, des cumuls de lame d'eau peuvent être réalisés afin de comparer l'impact des modalités « référence » et « couverture du sol » sur l'hydrologie de la parcelle.

Les prélèvements sont envoyés en laboratoire pour l'analyse des teneurs en nitrate. Les teneurs, étant associées à un prélèvement précis, vont permettre de retracer les chroniques de transfert de nitrate dans le sol pour chaque modalité.

Ces teneurs et lames d'eau « instantanées » vont permettre de calculer les flux d'azote générés par les différentes modalités. Ces flux sont obtenus par la multiplication des quantités d'eau avec la teneur en nitrate (ramenée à une teneur en azote). Ces flux sont ensuite cumulés sur l'ensemble des 8 ans d'essai pour observer les différences potentielles entre les modalités de chaque parcelle.

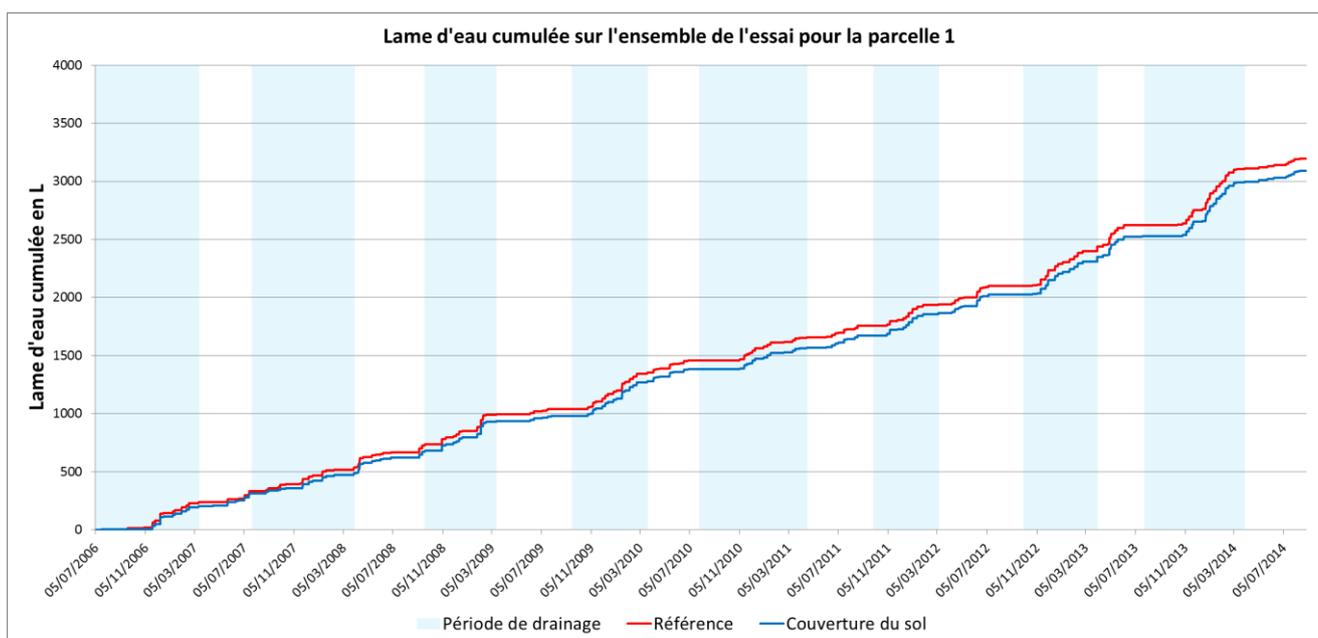
Au final, chaque prélèvement est associé à une quantité d'eau écoulée, une teneur en nitrate et un flux d'azote.

A titre d'exemple, les Figure 29, Figure 30 et Figure 31 retracent les résultats obtenus en termes de lame d'eau, teneur en nitrate et flux d'azote pour la parcelle 1 sur l'ensemble de l'essai. Des

graphiques identiques pour les 3 autres parcelles de la rotation quadriennale se trouvent en annexe 5.

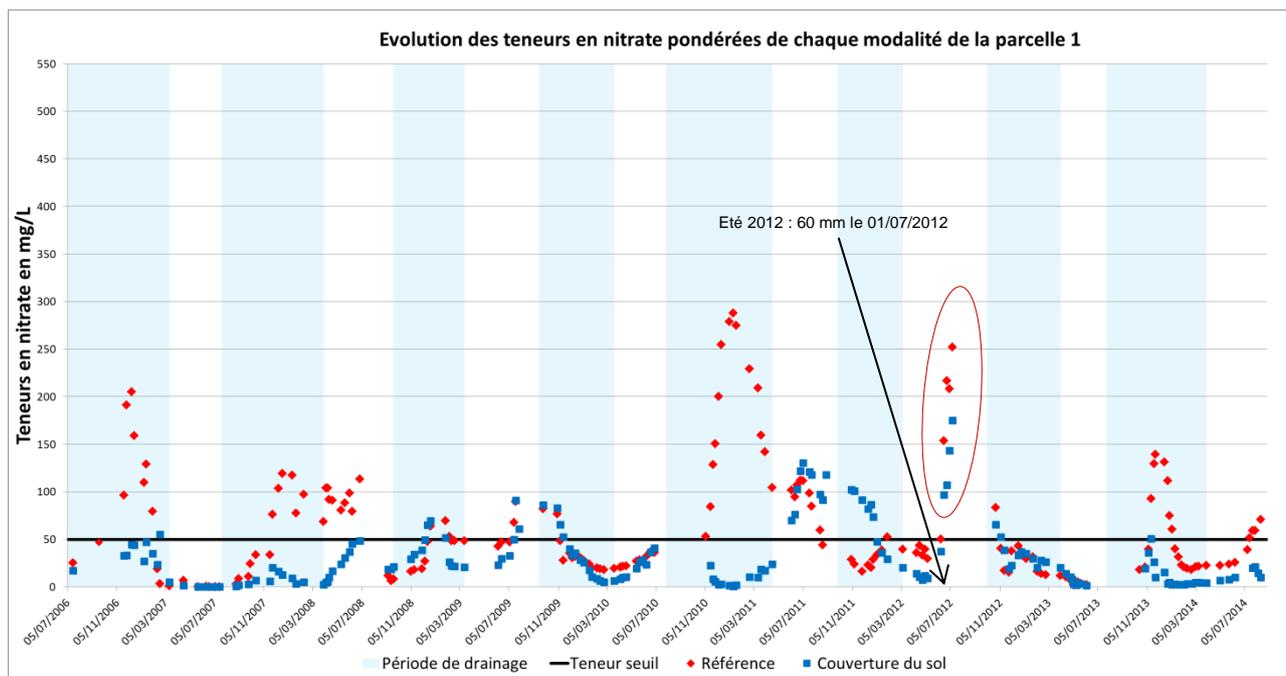
D'après la Figure 29, la modalité couverture du sol de la parcelle 1 montre un cumul de lame d'eau légèrement inférieur à celui de la modalité référence. On observe que sur les zones bleues, qui correspondent aux périodes de drainage hivernal, les 2 courbes ont tendance à augmenter. C'est durant cette période que la modalité « Csol » est en partie couverte par des cultures pièges à nitrate, ce qui permet de créer ce différentiel de cumul avec la modalité « Référence » dont le sol est nu à cette période. Les cultures intermédiaires présentes vont pouvoir absorber une partie de cette eau et limiter les écoulements.

Figure 29 - Lame d'eau cumulée (en L) sur l'ensemble de l'essai pour la parcelle 1



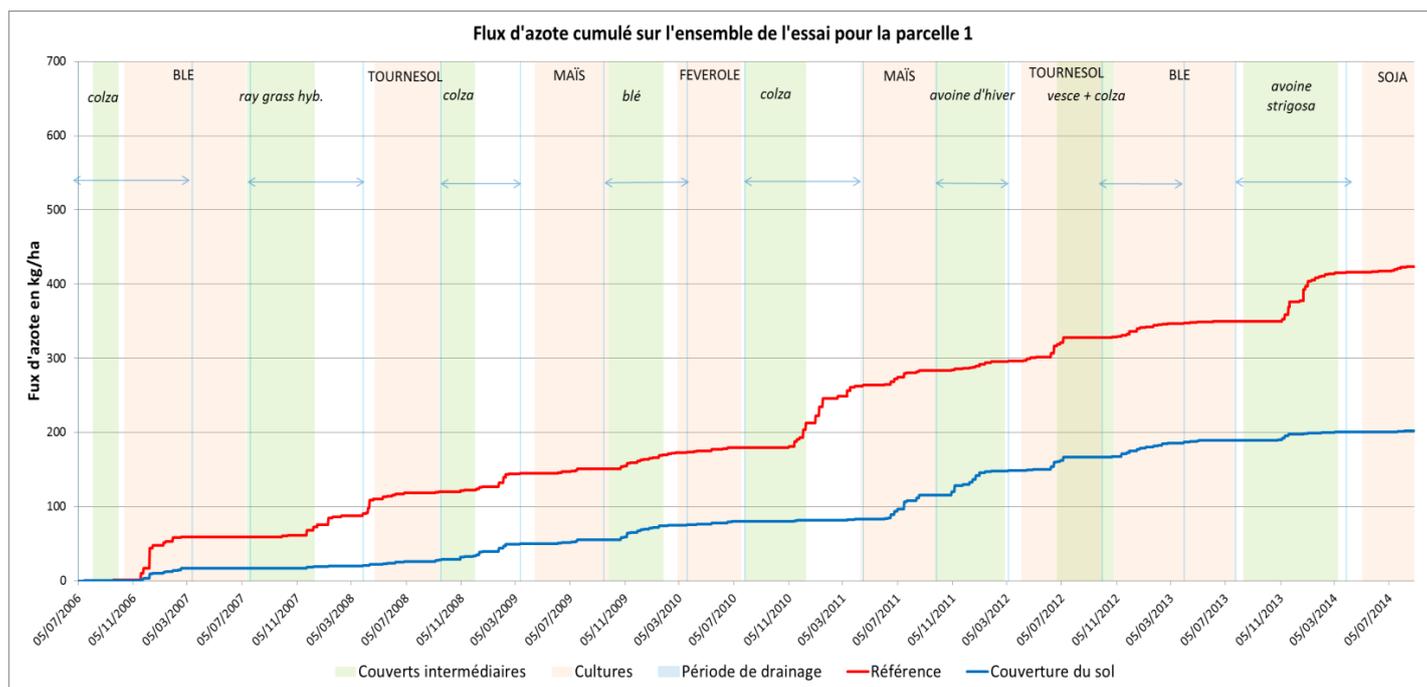
Sur la Figure 30, les teneurs représentées sont les teneurs pondérées par la quantité d'eau écoulée à chaque prélèvement. On observe que la majorité des pics de teneurs se trouvent en période de drainage hivernal. L'effet des CIPAN (écart entre les losanges rouges de la modalité référence et les carrés bleus de la modalité couverture du sol) est notable lors des campagnes 2007-2008 (après un blé), 2010-2011 (après une féverole) et 2013-2014 (après un blé) où les teneurs restent faibles et très stables. Sur les campagnes 2008-2009 (après un tournesol), 2009-2010 et 2011-2012 (toutes deux après un maïs), l'effet des CIPAN sur les teneurs reste relatif. Cela s'explique par le fait que les CIPAN n'ont pas eu le temps de se développer assez avant la période de drainage, leur implantation ayant été assez tardive. On observe aussi que l'été 2012 a été particulièrement pluvieux avec un orage très important (60 mm le 01/07/2012) ce qui explique le pic de teneur à cette période pour les deux modalités.

Figure 30 - Evolution des teneurs en nitrate pondérées (en mg/L) de chaque modalité de la parcelle 1



La Figure 31 présente les flux d'azote cumulés pour chacune des modalités de la parcelle 1. Comme dans le graphique précédent, on retrouve l'effet de la CIPAN sur les campagnes 2007-2008, 2010-2011 et 2013-2014, la courbe bleue (modalité couverture du sol) restant assez stable aux périodes d'interculture symbolisées par les zones vertes (présence de la CIPAN) et blanches (période où le sol est nu). La courbe rouge (modalité référence) a tendance à augmenter durant ces périodes, le sol restant nu sur l'ensemble des zones verte et blanche. Le flux d'azote total pour la modalité Référence de la parcelle 1 est de 423 kg N/ha contre 202 kg N/ha pour la modalité Couverture du sol, ce qui représente un écart de 221 kg N/ha.

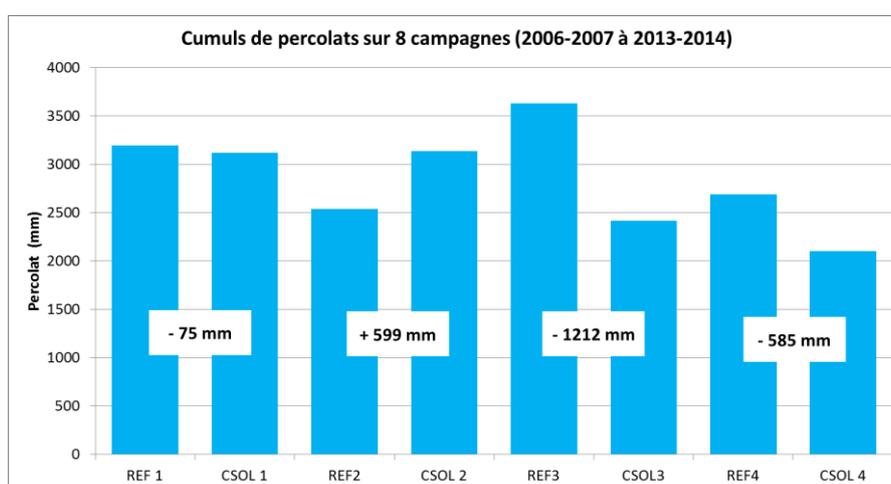
Figure 31 - Flux d'azote cumulé (en kg N/ha) sur l'ensemble de l'essai pour la parcelle 1



### 3. 1. 2. 2. Analyses générales de l'effet des CIPAN sur les lames d'eau et sur la lixiviation du nitrate

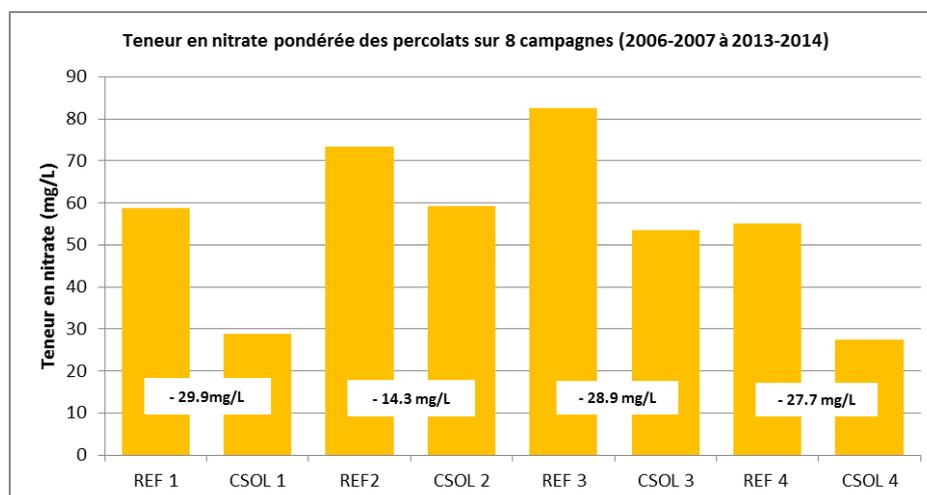
La Figure 32 présente les cumuls d'eau percolés sur les 4 parcelles du système rotation quadriennale en comparant la partie avec un couvert (Csol) et l'autre moitié en sol nu (Réf) durant l'hiver. On constate que la couverture des sols réduit le cumul d'eau percolé. En moyenne, une réduction de 11 % est observée par rapport au sol nu, ce qui représente 318 mm d'eau à l'échelle des 8 campagnes. On constate que cette différence s'observe au début de l'automne au moment de la recharge des sols en eau, lorsque les couverts semés en été sont développés et ont desséché le sol. Les couverts implantés en automne derrière le tournesol ou le maïs ont assez peu d'effet sur les quantités d'eau drainées. Attention toutefois, il y a de la variabilité dans les résultats, comme le montre la parcelle 2 où les lysimètres fonctionnent de façon complètement antagoniste par rapport aux autres.

Figure 32 - Cumuls de percolats sur 8 campagnes (2006-2007 à 2013-2014)



Au-delà de réduire la quantité d'eau percolée durant l'hiver, les couverts permettent de réduire leur teneur en nitrate de façon significative. C'est ce que l'on observe sur la Figure 33. Par rapport au sol nu, une réduction de 37 % est observée. En moyenne sur les 8 années cela représente -25.2 mg/L.

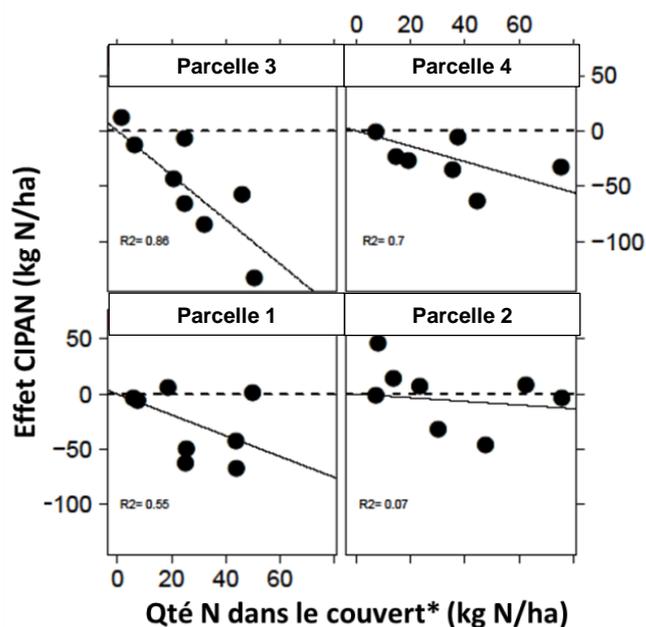
Figure 33 - Teneur en nitrate pondérée sur 8 campagnes (2006-2007 à 2013-2014)



La réduction des percolats et de leur concentration en nitrate est liée à la croissance des couverts et à l'azote qu'ils ont absorbé (cf. Figure 34). L'effet CIPAN représente la réduction de

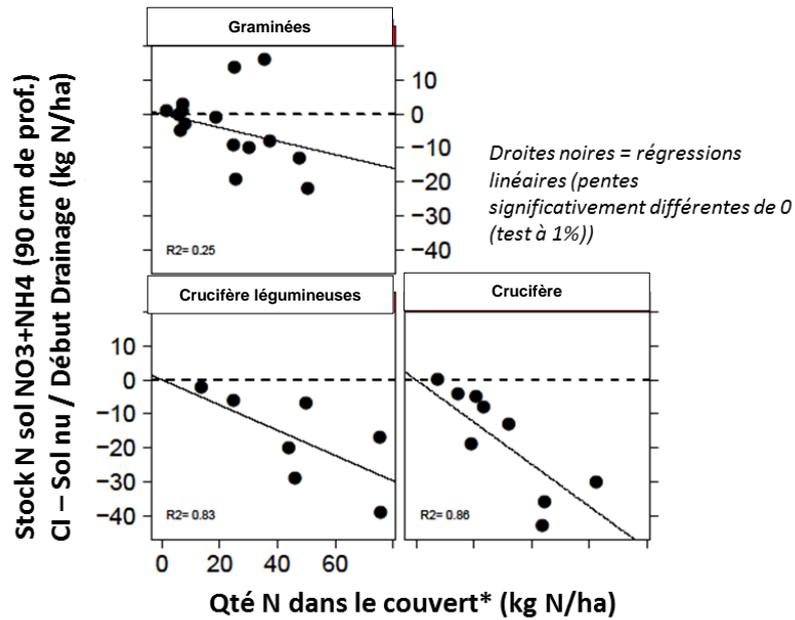
lixiviation de nitrate par rapport au sol nu, soit la différence entre la modalité « référence » et « couverture du sol ». Les droites noires schématisent les régressions linéaires de la relation entre la quantité d'azote absorbée par le couvert (axe des abscisses) et l'effet CIPAN (axe des ordonnées). Sur chacune des parcelles on observe que plus le couvert a absorbé d'azote, plus la lixiviation est réduite. Cette relation est statistiquement significative pour les parcelles 1, 3 et 4. Les lysimètres de la parcelle 2 ayant un fonctionnement particulier, les résultats ne sont pas significatifs.

Figure 34 - Relation entre l'écart de lixiviation sol nu/couvert et la quantité d'azote absorbé par le couvert



La Figure 35 montre la même relation par famille de couvert. On aurait pu imaginer que l'utilisation de légumineuse modifierait « l'effet CIPAN », mais il semble que le mélange crucifère/légumineuse ait le même comportement que les mélanges purs de graminées ou de crucifères. Le stock d'azote minéral du sol ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) est d'autant plus réduit que le couvert a absorbé d'azote. Durant l'hiver cela se traduit par une réduction de l'azote lixivié.

Figure 35 – Relation entre la quantité d'azote absorbé par les cultures intermédiaires et stock d'azote avant drainage



Les couverts permettent donc de réduire les quantités d'eau percolées vers la nappe phréatique durant la période d'interculture, ainsi que leur concentration en nitrate. Leur effet sera d'autant plus important que la biomasse et l'azote absorbé le seront aussi.

### 3. 1. 3. Effet des CIPAN sur la nutrition azotée de la culture suivante

Après leur destruction, les CIPAN vont se décomposer et libérer partiellement par minéralisation l'azote qu'elles ont stocké durant l'hiver. L'effet de la présence d'un couvert intermédiaire sur la fourniture d'azote à la culture suivante se chiffre à deux niveaux par comparaison à une conduite sans implantation de couvert. Tout d'abord, en absorbant de l'azote minéral du sol et en n'en restituant qu'une partie entre sa destruction et la sortie de l'hiver, le couvert impacte le reliquat sortie hiver (effet RSH). Par la suite, la fourniture en azote du sol peut être influencée par la minéralisation de l'azote du couvert restant à accomplir entre la sortie hiver et la récolte de la culture suivante (terme  $MrCI$  de la méthode du bilan). Ces deux effets sont calculés à l'aide des mesures effectuées sur l'essai et selon la méthode du bilan azoté proposée par le COMIFER.

Le principe du calcul est le suivant :

$$\Delta R = Mh + MrCI - \Delta P - L$$

Avec :  $\Delta R = Rf - Ri$ , soit variation du stock d'azote minéral du sol dans l'intervalle de temps considéré

$\Delta P = Pf - Pi$ , soit la quantité d'azote absorbé par la culture dans l'intervalle de temps considéré

$L$  = Lixiviation de l'azote nitrique

$Mh$  = Minéralisation de l'azote organique issu de l'humus

$MrCI$  = Minéralisation de l'azote organique des résidus de CI sous la culture

L'effet des couverts intermédiaires porte à la fois sur **Ri** (reliquat sortie hiver ou au semis) et par le biais du terme **MrCI** (minéralisation des couverts intermédiaires) :

- L'estimation de l'effet sur *Ri* se calcule en faisant la différence entre les modalités COUVERT et SOL NU
- L'estimation du terme *MrCI* passe par l'estimation de *Mh* sur la modalité Sol Nu et l'estimation de *Mh+MrCI* sur la modalité couvert. La différence entre ces deux valeurs donne le terme *MrCI*.

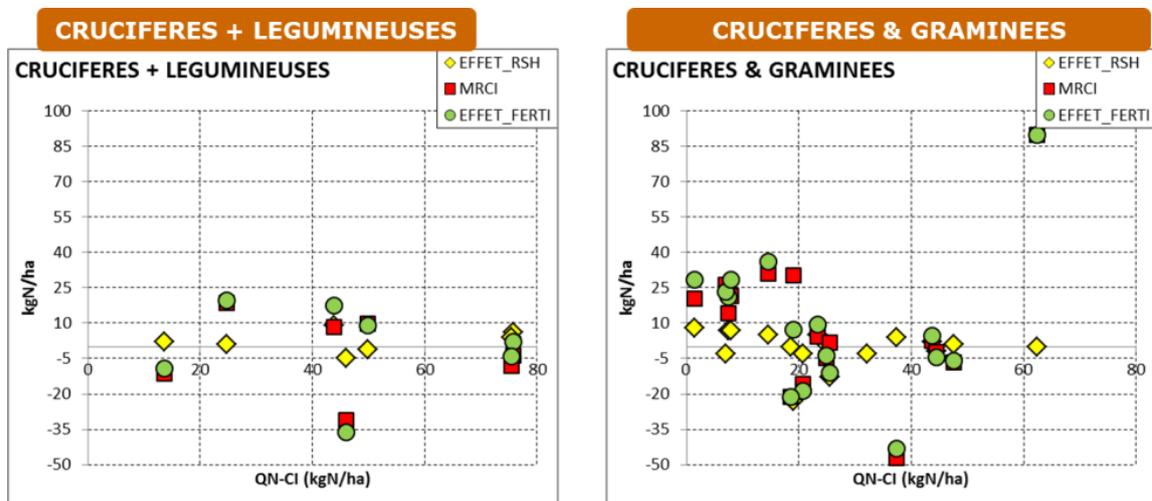
L'essai n'est pas doté de répétitions. La variabilité des résultats est grande, mais malgré tout la fourniture d'azote par les couverts pour les cultures suivantes a pu être estimée (cf. Figure 35). L'effet fertilisation représente le cumul de ces deux effets.

L'effet *Reliquat Sortie Hiver*, symbolisé par les losanges jaunes, est faible voir nul. Les couverts intermédiaires n'influencent pas positivement la quantité d'azote du sol par rapport au sol nu. En effet la quantité d'azote lixiviée dans les modalités sol nu est équivalente à celle absorbée par les couverts et non restituée avant la sortie hiver. Le bilan est donc nul sur le reliquat.

La *Minéralisation des Couverts Intermédiaires (MrCi)*, symbolisée par les carrés rouges, est variable et difficilement prévisible. Sur les 8 années d'essai, elle est tantôt positive pour le système tantôt négative. Décomposer cette biomasse nécessite parfois plus d'azote (consommation par les organismes du sol responsables de la minéralisation) que ce qu'elle va libérer au final.

Tout cela se traduit par un *effet fertilisant* (somme de l'effet RSH et du *MrCi*, symbolisé par les ronds verts) variable et de faible ampleur. L'observation des données permet de conclure qu'il repose principalement sur la minéralisation du couvert sous la culture du maïs.

Figure 36 - Effet de deux mélanges de couverts sur la fourniture d'azote à la culture suivante

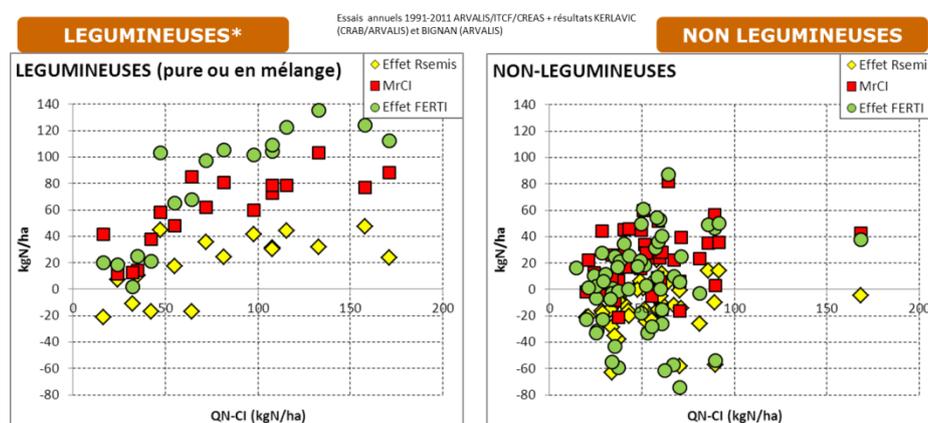


Le dispositif sans répétition n'est pas bien adapté à l'évaluation de l'effet fertilisant. La Figure 37 montre les résultats d'essais analytiques en micro-parcelles sur l'effet fertilisant des différentes familles de CIPAN dont une partie a été réalisée sur des parcelles de la Plaine de Lyon.

Les légumineuses ont un effet fertilisation significatif sur la culture suivante. Plus la biomasse développée est importante, plus les restitutions pour la culture (points verts) le seront également. L'effet sur le reliquat au semis est neutre (points jaunes) à positif, alors que la minéralisation des résidus de CI (points rouges) après destruction est toujours positive.

Pour les autres familles de couverts, l'effet fertilisation est très variable et peu élevé. La minéralisation des parties aériennes compense le déficit de reliquat au semis.

Figure 37 - Effet des familles de couverts sur la fourniture d'azote au maïs suivant



Cette étude permet de conclure que l'effet fertilisant des couverts de mélanges (légumineuse + autre famille) est supérieur à celui d'un couvert sans légumineuse. Dans un milieu à risque élevé de lixiviation, les mélanges permettent de concilier la limitation des pertes et la contribution à la nutrition azotée des cultures.

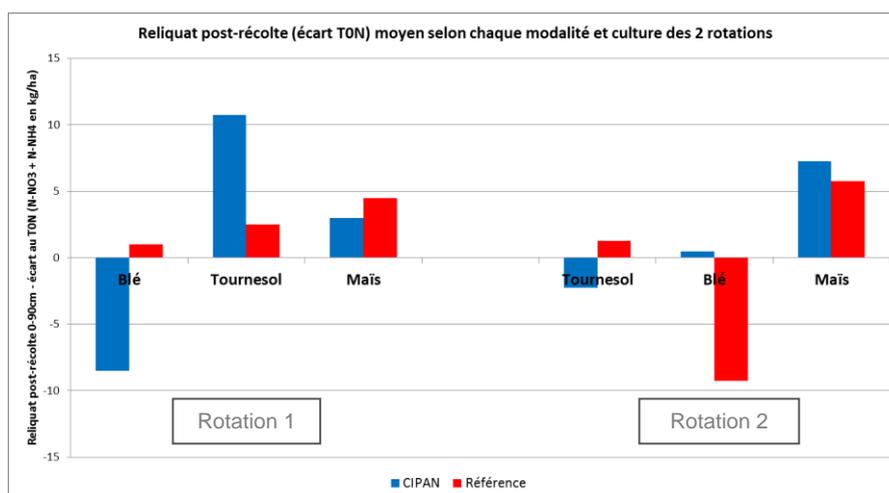
### 3. 1. 4. Etude des reliquats post-récolte de la rotation quadriennale

Une analyse des reliquats est effectuée après chaque récolte afin de vérifier l'efficacité des apports azotés et de calculer ces derniers pour la culture suivante. Une moyenne des reliquats post-récolte de chaque culture a été réalisée. Afin de comparer ces résultats, chaque parcelle disposait d'un espace appelé « témoin zéro azote » (ou T0N) où la culture ne bénéficiait d'aucun apport azoté. L'écart de reliquat entre ce témoin et la culture fertilisée montre la justesse de l'apport.

La Figure 38 ci –après représente les reliquats post-récolte écart au T0N pour chaque culture des 2 rotations. La féverole et le soja ont été volontairement retirés de ce graphique, ne bénéficiant pas d'apports azotés.

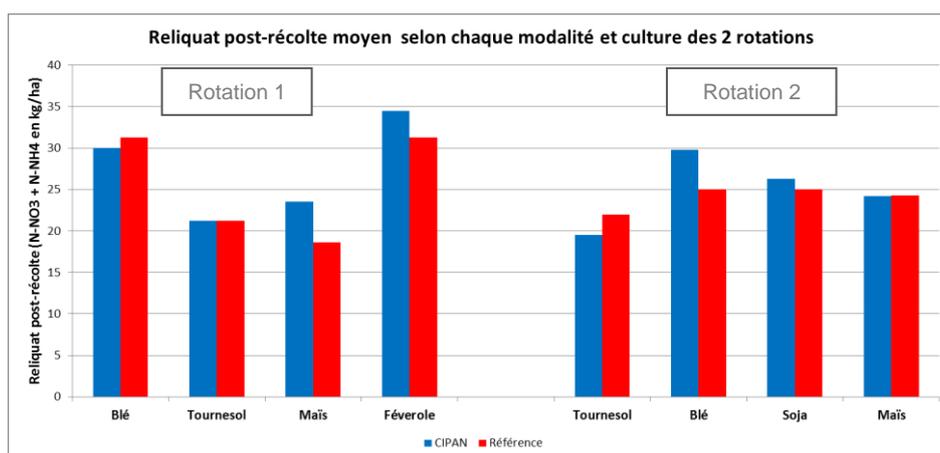
On observe que l'écart est rarement supérieur à 10kgN/ha, quelle que soit la modalité, ce qui montre une bonne maîtrise de la fertilisation azotée sur l'essai.

Figure 38 - Reliquat post-récolte (écart T0N) moyen selon chaque modalité et culture des 2 rotations



La Figure 39 ci-après montre les reliquats post-récolte moyens par culture et par rotation. On observe que ces reliquats sont globalement plus faibles pour la seconde rotation, du fait de l'amélioration des apports de façon à être au plus près des besoins de cultures.

Figure 39 - Reliquat post-récolte moyen selon chaque modalité et culture des 2 rotations



### 3. 1. 5. Enseignements des 8 années d'essai sur rotation quadriennale en matière de transfert du nitrate

Cet essai aura pu montrer que l'ajout de CIPAN dans la rotation permet de diminuer les transferts de nitrates en interculture mais que leur efficacité dépend de nombreux facteurs, à commencer par le facteur climatique. La date de semis, la durée d'implantation, la disponibilité de l'azote ainsi que les caractéristiques de développement propres à la plante vont aussi influencer sur l'efficacité de celle-ci à piéger le nitrate. Des CIPAN implantées dans l'été auront une meilleure croissance et prélèveront plus d'azote malgré une levée parfois difficile. En revanche des CIPAN implantées en automne (après un tournesol ou un maïs) auront un effet très faible sur la limitation des transferts, leur développement étant très limité.

L'essai montre que des étés particulièrement pluvieux entraînent des transferts sous cultures et ce quelle que soit la modalité. L'effet CIPAN ne rentre alors plus en ligne de compte.

Enfin, l'expérience a montré que ces CIPAN n'ont pas de réel effet fertilisant sur la culture suivante. Le rapprochement avec des essais analytiques sur microparcelles permet de conclure que les mélanges légumineuses/non-légumineuses peut être un bon compromis pour limiter les transferts de nitrate et maintenir une fourniture d'azote à la culture suivante satisfaisante. Dans un milieu à risque élevé de lixiviation, l'usage d'une légumineuse pure représente un risque supplémentaire de transfert.

### *3. 2. Dynamique de l'azote sur une monoculture de maïs*

Le système en monoculture de maïs étudie quatre conduites liées au travail du sol et à la gestion des intrants

- **Ref** : Pratique de référence des agriculteurs en labour, avec une conduite optimale d'un point de vue technico-économique où chaque technique culturale est décidée après réalisation d'observations confrontées à des seuils (interventions phytosanitaires) et après mise en œuvre d'outils de pilotage (Irrinov, N-tester, méthode du bilan prévisionnel...). A partir de 2011, l'apport d'azote au semis est supprimé et remplacé par des apports à 4-5 feuilles et à 8-10 feuilles pour limiter l'exposition au lessivage. Les seuils d'interventions et outils de pilotage restent identiques.

- **NL** : Conduite en Non Labour pour en apprécier les effets. Toutes les autres interventions sont décidées comme pour la modalité référence en fonction des préconisations régionales. Entre 2007 et 2010 l'objectif de rendement est le même que celui de la modalité Référence. A partir de 2011, la modalité non labour a un objectif de rendement qui lui est propre plus en rapport avec les résultats obtenus es 4 premières années de l'essai.

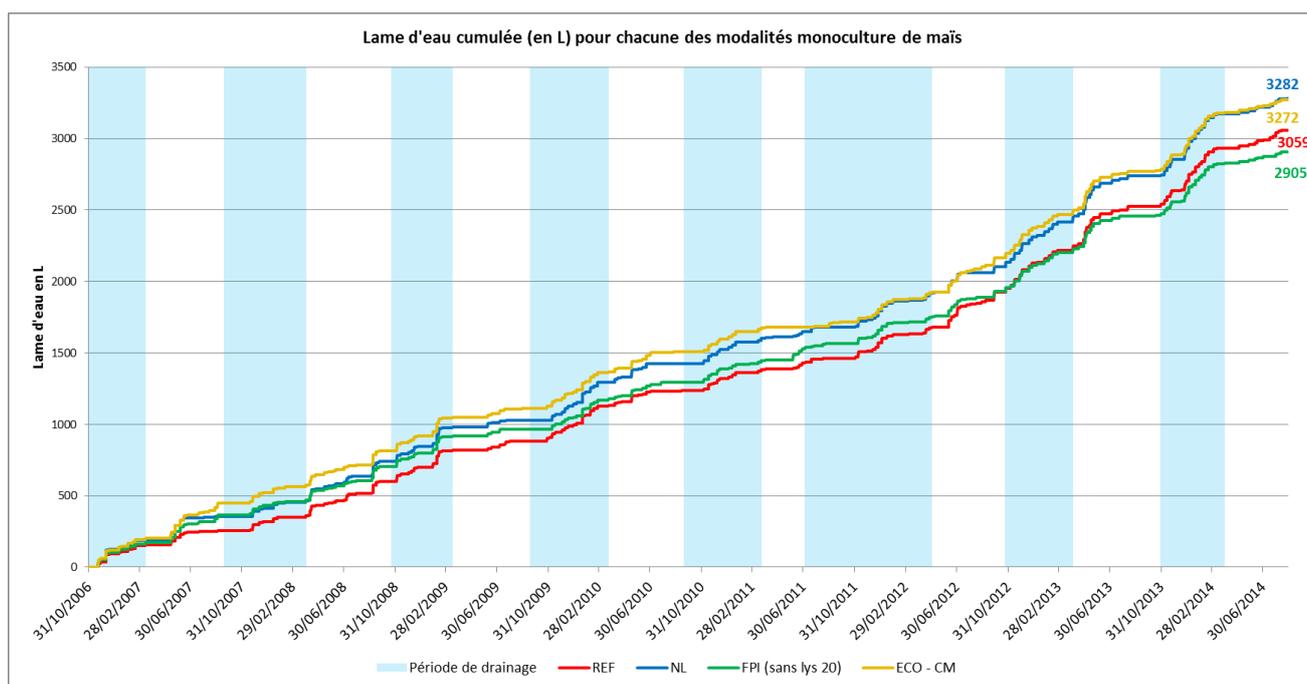
- **ECO-CM** : Conduite « Economique » puis « Coupure de Monoculture » en 2010-2011. Pour la conduite « économique », la diminution des intrants par rapport à la conduite de référence est vue sous l'angle économique avec un niveau d'exigence technique plus faible. La dose d'azote représente 80% de celle de la référence et les produits phytosanitaires sont moins coûteux. En 2010, cette modalité devient « coupure de monoculture » pour mesurer les impacts sur les transferts de la coupure de la monoculture, préconisée par la législation chrysome. Un blé est donc implanté (2010-2011), suivi d'une CIPAN avoine/vesce et de trois maïs (en 2012, 2013, 2014). Cette conduite sera optimisée et raisonnée sur les mêmes bases que celles de la conduite référence.

- **FPI** : Utilisation réduite des intrants (engrais de synthèse et produits phytosanitaires). Dans un premier temps, la dose d'azote est réduite de 60% par rapport à la référence, l'usage d'herbicide est limité et la pratique du désherbage est mise en œuvre (désherbage sur le rang + désherbage mécanique sur l'inter-rang). A partir de 2011, l'objectif est de réduire l'IFT de 50% par rapport à la référence régionale ; la dose d'azote est maintenant réduite à 80% de la dose de la modalité référence afin de trouver un compromis entre production et qualité de l'eau. La fertilisation se fait sous forme d'un apport unique enfoui avec un localisateur.

#### *3. 2. 1. Effet de la conduite en monoculture de maïs sur les quantités d'eau drainée*

La Figure 40 présente les cumuls de percolats dans les différentes conduites. Les courbes représentent la moyenne des deux lysimètres pour chaque modalité. Les différences observées sont probablement dues au fonctionnement propre de chaque lysimètre. En effet, un des deux lysimètres de la modalité FPI (le n° 20) présente un drainage inférieur à tous les autres, il a été volontairement retiré de ce graphique.

Figure 40 - Cumuls de percolats sur les 8 campagnes (2006-2007 à 2013-2014)

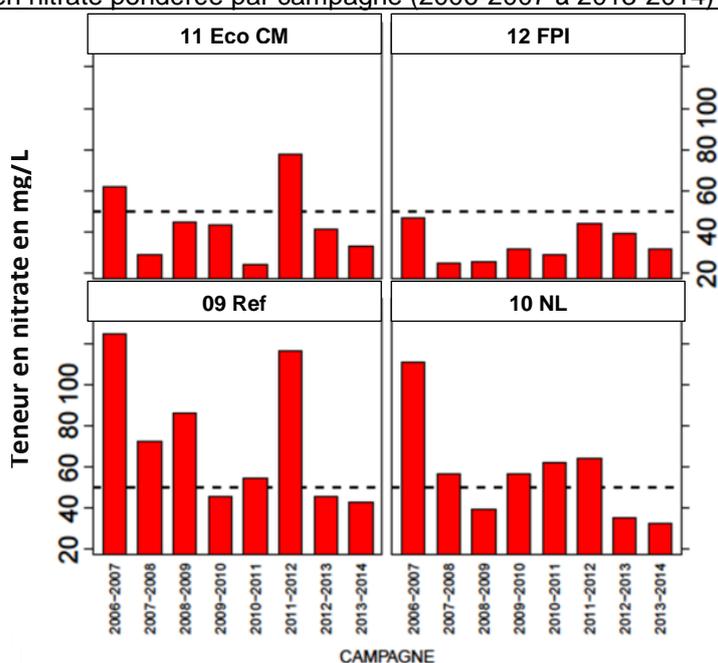


Globalement, les courbes ont la même allure, atteignant des niveaux de lame d'eau similaires. Les modalités n'influencent pas significativement les cumuls de percolats observés sur les 8 campagnes

### 3. 2. 2. Effet des pratiques de fertilisation azotée de la monoculture de maïs sur la lixiviation du nitrate et les reliquats post-récolte

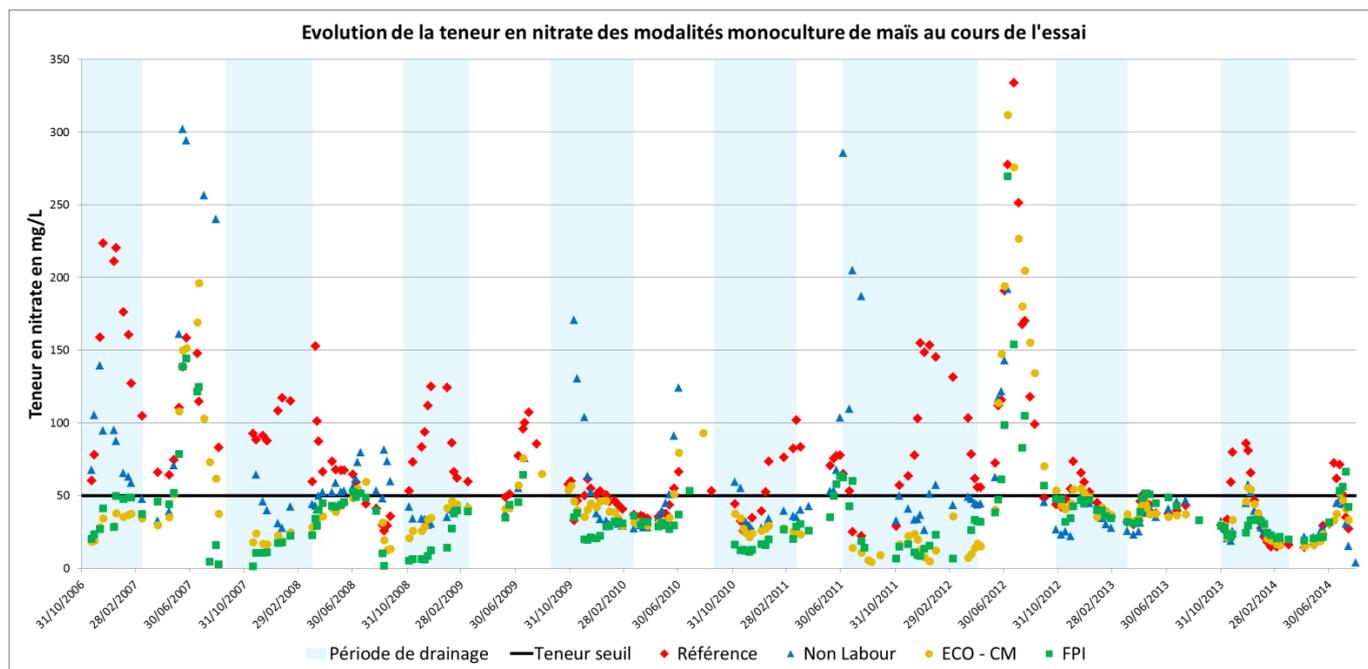
La teneur en nitrate a été mesurée à chaque prélèvement d'eau. Les moyennes annuelles des teneurs pondérées par leurs volumes a permis d'établir la Figure 41. La réglementation impose de respecter le seuil de 50 mg/L d'eau. Il est représenté par le trait pointillé horizontal. On constate qu'il y a une grande variabilité inter-annuelle. Certaines années, la concentration de nitrate dans l'eau augmente considérablement. C'est par exemple le cas durant la campagne 2011-2012. Un apport d'engrais a été positionné avant un orage imprévu. Il en a résulté une quantité d'azote lixivié importante.

Figure 41 - Teneur en nitrate pondérée par campagne (2006-2007 à 2013-2014) pour chaque modalité



La Figure 42 représente les teneurs en nitrate de chaque prélèvement, pondérée par les lames d'eau écoulées. Les points de couleurs symbolisent les différentes conduites de la monoculture. Les zones bleues représentent les périodes de drainage hivernal et les zones blanches, les périodes sous culture de maïs. On observe que les teneurs sont plus élevées principalement au cours des périodes de drainage hivernal hormis quand on rencontre un phénomène ponctuel de pluie abondante après un apport de fertilisant comme observé en 2012 (pluie de 60 mm le 01/07 quelques jours après les apports d'engrais). Les teneurs instantanées sont plutôt homogènes, malgré des dépassements un peu plus fréquents pour les modalités REF et NL dans les premières années de l'essai (doses d'azote importantes, non optimisées avec un objectif de rendement un peu trop élevé). On observe cependant une stabilisation des teneurs au fur et à mesure de l'essai, liée à l'évolution des pratiques sur chaque conduite.

Figure 42 - Evolution de la teneur en nitrate des modalités monoculture de maïs au cours de l'essai



Au fur et à mesure de l'avancée de l'essai et de l'acquisition de données expérimentales les termes de l'équation de la méthode de calcul de la dose ont pu être ajustés et la dose totale apportée a ainsi évolué pour mieux correspondre au besoin des cultures (Figure 43). Dans les modalités Ref et NL à partir de 2009, l'optimisation du mode de calcul des doses d'azote a conduit à améliorer la teneur en nitrate des eaux de percolation ainsi que des reliquats post-récolte (Figure 44) tout en maintenant le niveau de production.

Figure 43 - Dose totale apportée par modalité sur les 8 campagnes

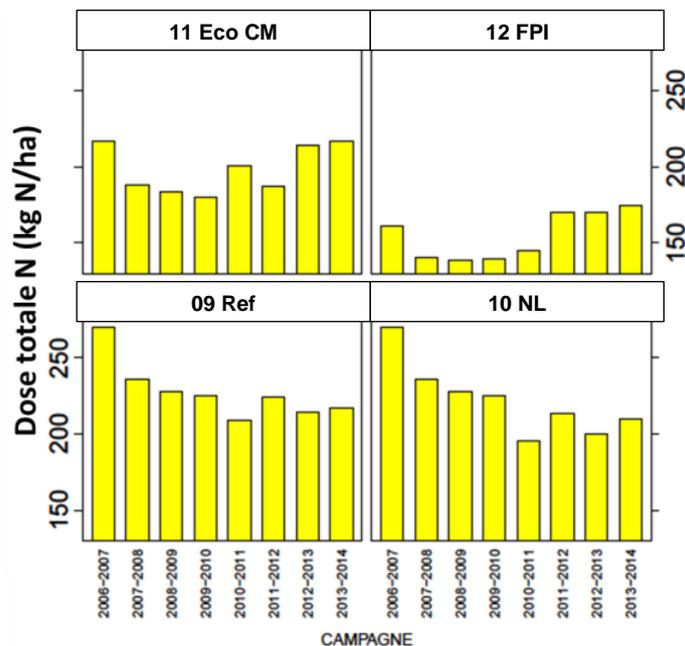
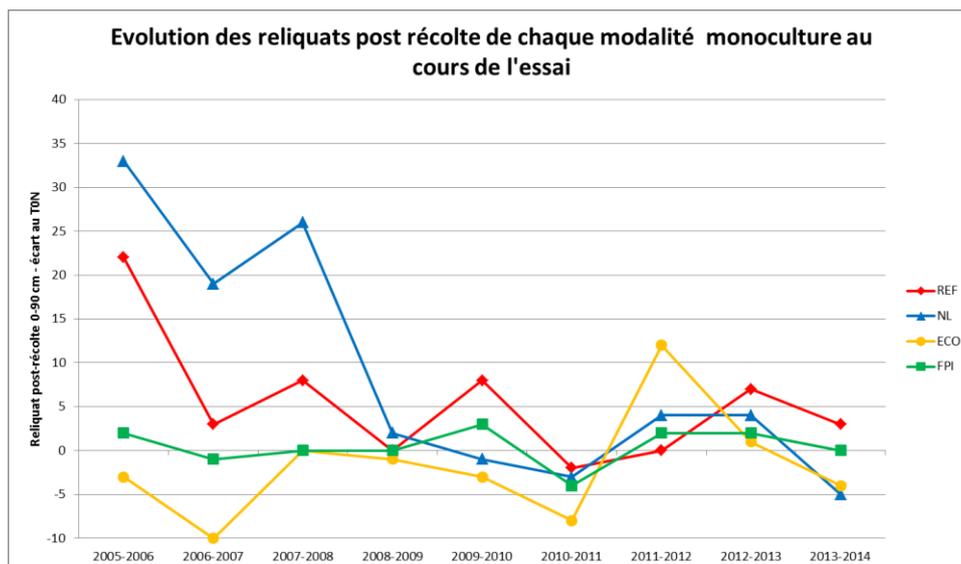


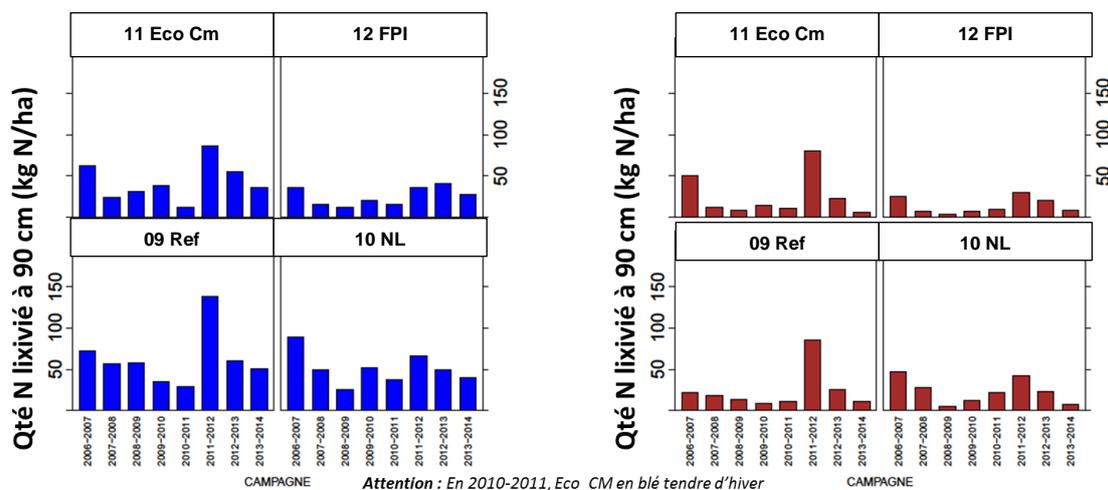
Figure 44 - Evolution des reliquats post-récolte de chaque modalité monoculture au cours de l'essai



Cette nette amélioration des teneurs et des reliquats post-récolte montre que le calcul de la dose d'azote et les modalités d'apport jouent un rôle essentiel dans les transferts de nitrate en monoculture de maïs.

La multiplication du volume d'eau de la lame drainante par leur teneur en nitrate permet d'obtenir la quantité d'azote transféré par campagne (cf. Figure 45). Cette quantité n'est pas constante au fil des ans. Le graphique bleu (cf. Figure 45) présente cette variabilité à l'échelle de l'année. Elle est très dépendante des conditions de pluviométrie. En comparant les graphiques rouge et bleu, on constate qu'une part de la lixiviation annuelle se déroule sous la culture de maïs. Toutes les modalités sont concernées mais à des niveaux différents en fonction des pratiques de fertilisation. Les flux de nitrate sont les plus importants lorsqu'un orage survient peu de temps après un apport d'engrais.

Figure 45 - Quantité d'azote lixivié par campagne (bâtonnets bleus) dont une partie se fait sous la culture de maïs (bâtonnets bordeaux)



Les Figure 46 et Figure 47 retracent les flux d'azote cumulés pour chaque modalité de la monoculture. Comme sur la Figure 45, on observe qu'une partie des flux a lieu pendant la culture

de maïs, en particulier lors d'étés pluvieux. Ce phénomène touche toutes les modalités et est fortement dépendant du climat de l'année.

La modalité FPI s'avère être la modalité ayant le moins transféré d'azote. Ceci s'explique par des quantités d'azote apporté plus faibles ainsi que des lames d'eau moins importantes mais qui s'accompagnent aussi d'un rendement nettement inférieur aux autres modalités.

La modalité NL qui semblait entraîner plus de transferts au début de l'essai s'est finalement stabilisée pour arriver à un flux cumulé moins important que celui de la référence. Ceci s'explique par la redéfinition de l'objectif de rendement pour cette modalité, le rendement effectif s'avérant plus faible que celui de la référence. Cette modification a permis d'ajuster la dose d'azote apportée sur la parcelle, et donc de limiter les flux. Sur la première moitié de l'essai, la modalité Eco donnait de meilleurs résultats que la modalité référence en matière de flux d'azote. En effet, l'application de 80% de la dose d'azote référence a permis de limiter les flux, sans trop dégrader le rendement. L'introduction de la coupure de la monoculture par un blé suivi d'une CIPAN a elle aussi limité les flux. En revanche, on observe une ré-augmentation des flux ainsi qu'une concordance entre les courbes REF et ECO-CM à partir de l'été 2012. La dose ayant été recalculée et affinée, les modalités ont suivi la même fertilisation ce qui explique cette concordance.

Figure 46 - Flux d'azote cumulé pour les modalités REF, NL et FPI de la monoculture au cours des 8 ans

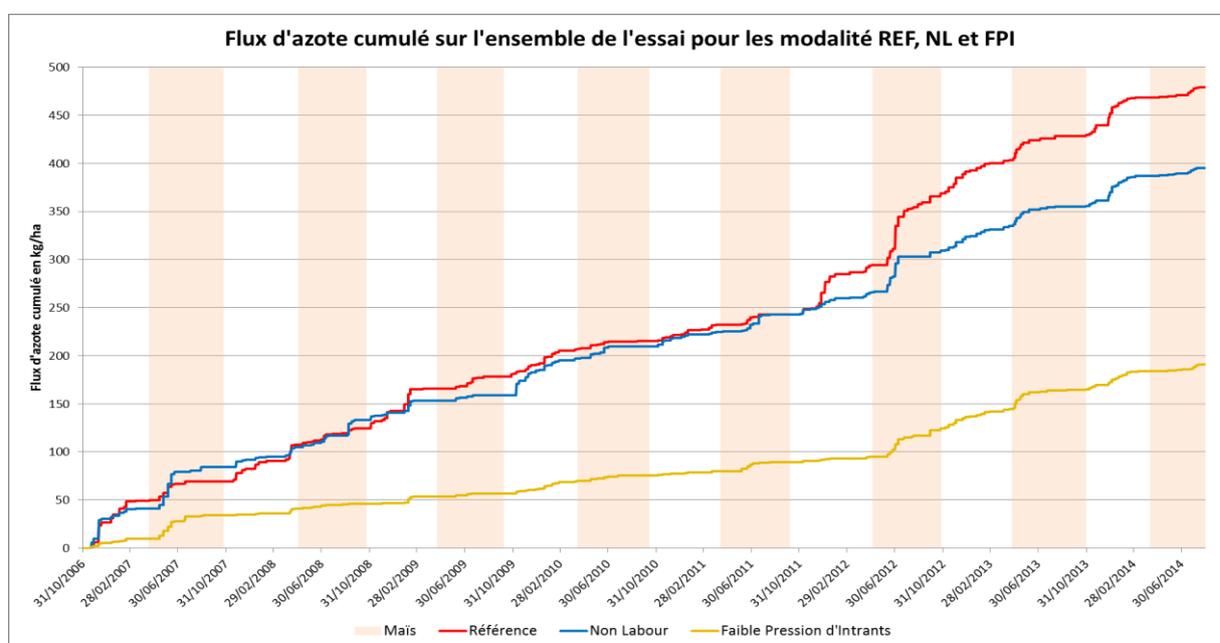
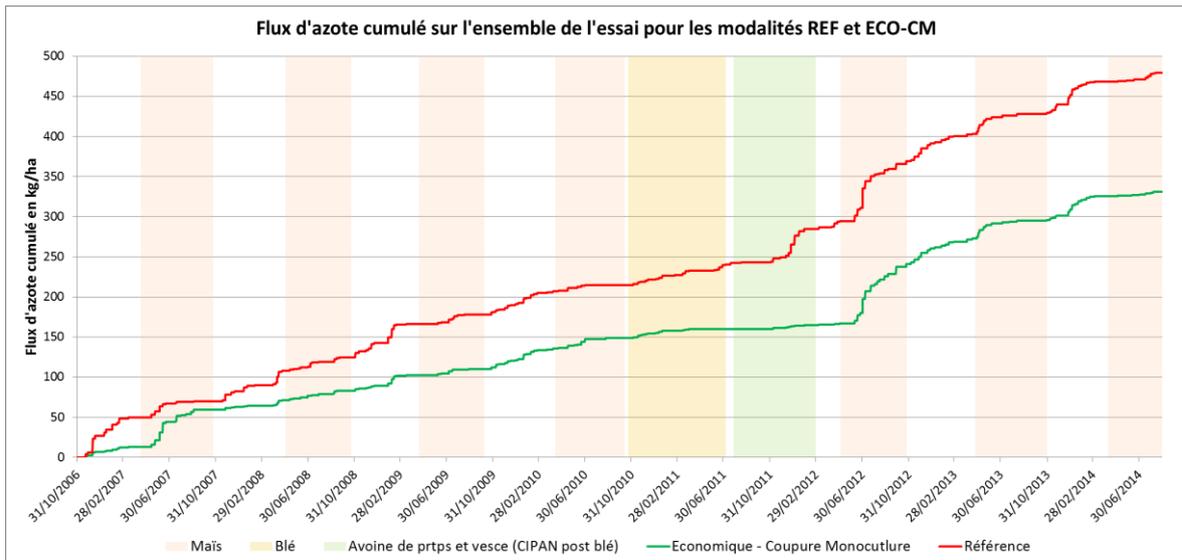


Figure 47 - Flux d'azote cumulé pour les modalités REF et ECO-CM de la monoculture au cours des 8 ans



Les effets des différentes conduites de culture sur la quantité d'azote lixivié sont contrastés. En dehors d'accidents liés à la concomitance entre un orage et un apport d'engrais, l'évolution des pratiques culturales permet de diminuer les pertes : calcul de la dose totale affiné, modes d'apport des engrais optimisés (enfouissement, limitation des apports aux stades précoces).

### 3. 2. 3. L'efficacité des apports d'azote

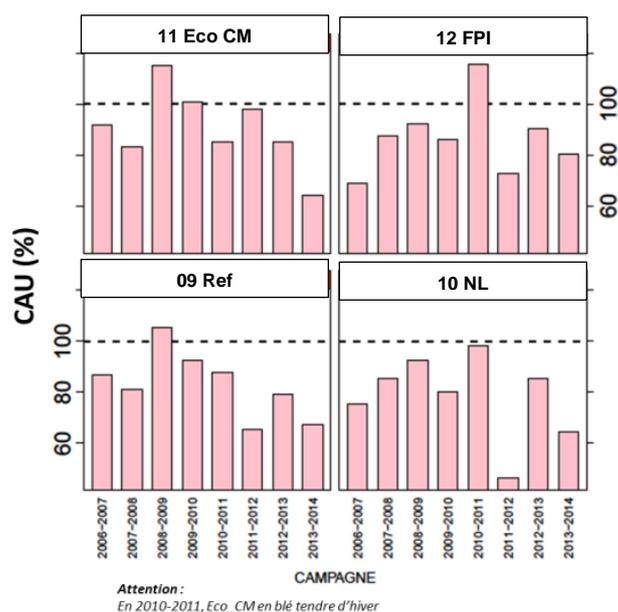
La mesure de l'azote absorbé par les parties aérienne et les fournitures du sol permettent d'évaluer l'efficacité de l'azote apporté dans les différentes modalités.

L'indicateur utilisé est le Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU). La formule de calcul est la suivante :

$$CAU (\%) = \frac{\text{Quantité Nabs plante entière avec engrais} - \text{Quantité Nabs plante entière témoin } 0 N}{\text{Dose } N \text{ engrais apportée}}$$

Plus le CAU est élevé (proche de 100 %), plus l'efficacité de l'engrais apporté à la culture est importante. L'analyse de chacune des modalités met en évidence une variabilité interannuelle (cf. Figure 48).

Figure 48 - Evolution du coefficient apparent d'utilisation de l'azote apporté sur les 8 campagnes



Les CAU sont plus élevés sur les modalités ECO et FPI, mais l'analyse parallèle avec les évolutions des doses totales apportées sur l'essai (cf. Figure 43) ne montre pas de lien apparent avec la dose totale apportée.

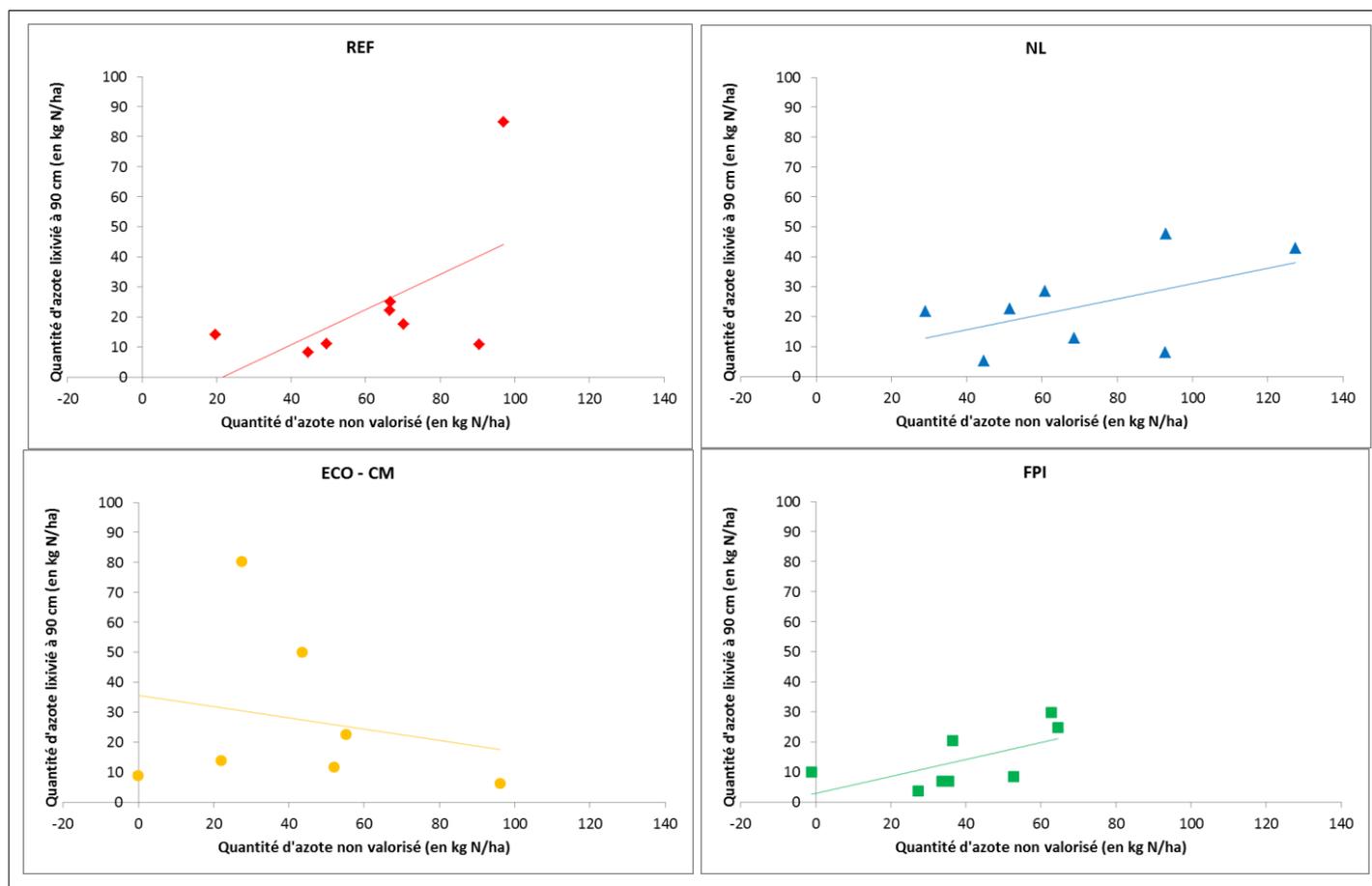
### 3. 2. 4. Lien entre l'azote non valorisé des engrais et la lixiviation sous culture

L'analyse des CAU montre que l'utilisation de l'azote (quelle que soit la modalité) n'est pas optimale.

$$\text{Azote non valorisé} = \text{dose N apportée} * (1 - \text{CAU})$$

Si l'azote n'est pas assimilé par les plantes, il reste sensible à des pertes potentielles. La Figure 49 représente la relation entre l'azote non valorisé et la lixiviation sous culture.

Figure 49 - Relation entre l'azote apporté par les engrais non valorisé et la lixiviation sous culture



Chaque point représente une année donnée. On remarque qu'un point de la modalité Ref et deux point de la modalité Eco-CM s'écartent de la tendance et présentent des quantités d'azote lixivié importantes. Ces points correspondent aux évènements pluvieux ponctuels suivant un apport de fertilisant comme évoqué précédemment (2012). La modalité ECO-CM suit une tendance différente qui peut s'expliquer par le changement de pratique au cours de l'essai (coupure de la monoculture par un blé et une CIPAN, changement de la dose d'azote). Sur le reste du jeu de données, un lien tendanciel entre la quantité d'azote apporté par les engrais, qui n'a pas été valorisée, et la lixiviation sous culture est observable. Toutefois son ampleur est faible et le défaut de CAU n'est pas entièrement expliqué par ce constat. Cela laisse penser qu'il y a d'autres sources de perte d'azote. Une hypothèse forte d'explication porte sur des pertes par volatilisation ammoniacale sans que cela puisse être confirmé car il n'y a pas eu de mesures sur l'essai.

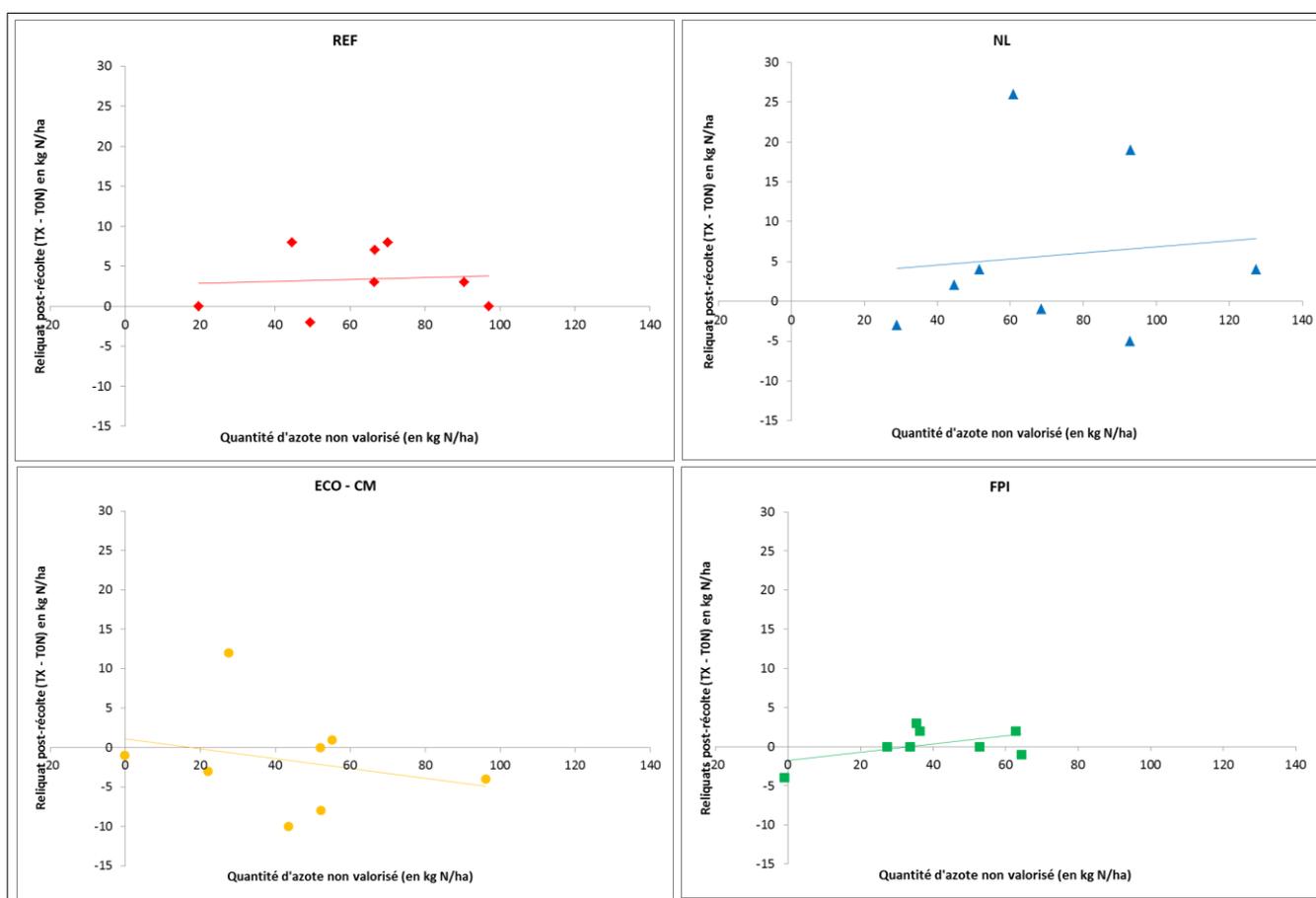
La lixiviation sous culture est tendanciellement liée à l'engrais non valorisé. C'est pourquoi il faut bien veillez à optimiser les pratiques d'apports (fractionnement, forme, conditions météorologiques). Toutefois ce sont des phénomènes de faible ampleur et les défauts de CAU peuvent aussi sans doute être attribués aux pertes potentielles par volatilisation.

### 3. 2. 5. Lien entre l'azote non valorisé des engrais et l'alimentation du reliquat post-récolte

L'azote non absorbé reste présent dans le sol, s'il n'est pas perdu par ailleurs. Les faibles CAU observés sur les 8 années d'essai peuvent donc avoir un impact sur les reliquats post-récolte et donc sur la quantité d'azote potentiellement lessivable durant l'interculture.

La Figure 50 présente les données acquises sur les 8 campagnes d'essai. L'axe des abscisses représente la quantité d'azote originaire des engrais qui n'a pas été valorisée. En ordonnée, les données illustrent l'écart de reliquat avec le témoin zéro. Le jeu de données met en évidence qu'il y a peu d'écart de reliquat post-récolte entre les zones fertilisées et celles qui ne le sont pas. La modalité en Non Labour affiche deux reliquats un peu plus élevés, qui correspondent à des années avec des rendements plus faibles que prévu. En 2007 et 2008, l'objectif de rendement était de 147 q/ha pour le Non Labour tandis que les rendements effectifs ont été respectivement de 130 et 133 q/ha. Les doses d'azote calculées étaient donc un peu trop élevées, une partie n'a pas pu être valorisée par la culture, ce qui s'exprime par des reliquats post-récolte importants.

Figure 50 - Relation entre l'azote des engrais non valorisé et l'écart de reliquat avec le témoin sans fertilisation



Aucun lien entre la quantité d'azote non valorisée originaire des engrais et l'accroissement du reliquat post-récolte n'est validé. Par conséquent, les risques de perte par lixiviation durant l'interculture suivante sont peu influencés par l'azote non absorbé par le maïs précédent.

Les données dont sont issus ces graphiques sont disponibles aux annexes 6, 7, 8, 9 et 10.

### 3.2. 6. Enseignement concernant 8 années d'études en monoculture de maïs sur le transfert du nitrate

La lixiviation du nitrate se différencie lors de l'interculture, mais également pendant la période culturale. Sous culture, les pertes les plus importantes sont souvent liées à des phénomènes pluviométriques ponctuels.

Dans un premier temps, le calcul plus fin du besoin unitaire d'azote par quintal produit grâce aux données expérimentales acquises sur l'essai, a permis d'ajuster la dose totale et de réduire les teneurs en nitrate des eaux de percolation.

L'amélioration de l'efficacité des engrais (CAU) constitue une autre voie pour limiter les transferts. Optimiser les pratiques d'apports en fractionnant les doses, en choisissant les formes d'engrais les moins sensibles à la volatilisation, et en ajustant la date d'épandage en fonction des prévisions de pluies permet de réduire le risque de pertes.

### 3. 3. Dynamique de l'azote sous un couvert permanent

La couverture permanente du sol simule le fonctionnement d'un système naturel. Il n'y a pas d'irrigation, ni d'apport de fertilisants exogènes. Le couvert est constitué de graminées (ray-grass et fétuque principalement) régulièrement broyé et restitué.

Les biomasses développées ne sont pas très élevées. En moyenne 2.01 tonnes de matière sèche/ha sont produites par an (cf. Figure 51). Cette très faible production s'explique par un déficit d'alimentation minérale et hydrique. La quantité d'azote absorbé par les plantes est faible (en moyenne 27 kg N/ha) qui s'explique par une faible ressource et des plantes également stressées par le déficit hydrique. Le statut azoté des plantes, traduit par l'Indice de nutrition azoté, confirme ce constat. Les indices sont bas (cf. Figure 52). En moyenne 35% des besoins en azote sont couverts.

Figure 51 - Biomasse aérienne annuelle du couvert permanent

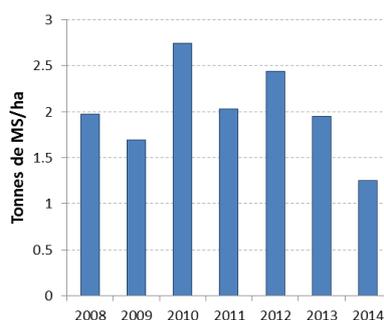
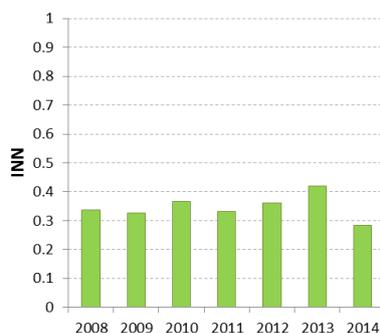
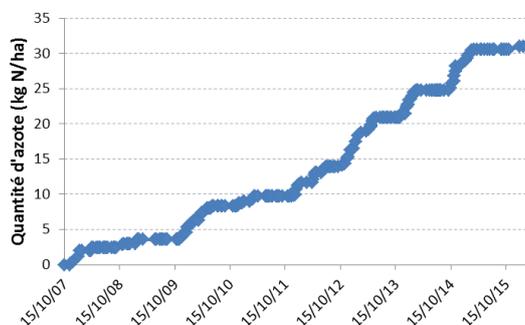


Figure 52 - Indice de nutrition azoté du couvert permanent durant l'essai



L'analyse des eaux de percolation montre que les transferts d'azote vers la nappe phréatique sont très faibles (cf. Figure 53). En moyenne 3.3 kg d'azote/ha par an sont perdus. Cela représente 30.6 kg d'azote cumulé sur les 8 années d'essais entre 2008 et 2015.

Figure 53 - Quantité cumulée d'azote lixivié sur les 8 années d'essais



En conclusion, la couverture pérenne des sols par une prairie sans apports d'engrais ni irrigation est un système très faiblement productif et qui ne transfère que très peu d'azote vers le milieu naturel.

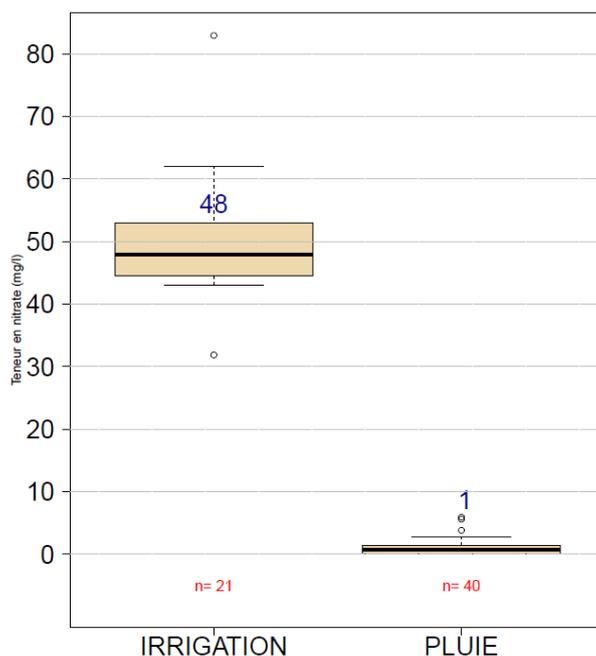
### 3. 4. Analyse des eaux de pluie et des eaux d'irrigation

Les analyses d'eau de pluie et d'irrigation ont été réalisées plusieurs fois par an depuis le début de l'essai (cf. Figure 54).

*L'eau de pluie* contient très peu de nitrate. En médiane, 1 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  a été quantifié dans les prélèvements. La variabilité est très faible.

*L'eau d'irrigation* est quant à elle plus riche en nitrate. La concentration médiane des 21 échantillons est de 48 mg/L. A part 2 données extrêmes, l'amplitude des résultats est assez restreinte. Dans la mesure où ces teneurs ne sont pas nulles, il est important de les prendre en compte dans le calcul de la dose totale d'azote apportée sur la parcelle. Il faut compter 11 kg d'azote par 100 mm d'eau d'irrigation apportés.

Figure 54 - Teneur en nitrate (mg/L) des eaux de pluie et d'irrigation



Le suivi des eaux de pluie et d'irrigation nous permet de contrôler tous les apports d'azote exogènes dans les systèmes de cultures étudiés. Les apports par l'eau d'irrigation ne sont pas négligeables et sont pris en compte pour ajuster au mieux les apports d'engrais.

### 3. 5. Préconisations suite aux 8 années d'étude sur le transfert du nitrate

Concernant les pratiques de rotation culturale, différents conseils peuvent être donnés :

- **L'introduction de CIPAN** en interculture constitue un premier levier pour limiter les transferts en diminuant les teneurs en nitrate des percolats et les écoulements par rapport à un sol nu.
- Les CIPAN ne sont pas toujours efficaces après les cultures de printemps, notamment le tournesol et le maïs : récolté en septembre octobre, elles impliquent une implantation tardive de la CIPAN, qui limite ses possibilités de développement avant la période de drainage. Il est donc nécessaire de **bien maîtriser et d'optimiser les doses d'azote**, en prenant notamment en compte l'effet des CIPAN sur la culture suivante pour limiter au maximum les résidus post-récolte, susceptibles de lessiver pendant l'hiver.
- Le **choix du type de CIPAN** joue aussi un rôle. Pour qu'elle soit efficace il faut qu'elle soit adaptée à la date de semis, à la culture précédente et suivante. Il faut donc être attentif sur ce choix, et veiller à ce que la caractéristiques agronomiques de la CIPAN (vitesse de levée, rusticité, potentiel de développement...) soit adaptées à la situation en interculture.
- **L'enfouissement des résidus** de culture avant l'implantation de la CIPAN constitue un deuxième levier. Cet enfouissement va permettre d'organiser l'azote dans le sol, de diminuer la part d'azote lessivable, et donc de limiter les risques de transfert. *Pour plus d'informations, se reporter au document « Cultures intermédiaires – impacts et conduite », ARVALIS Institut du végétal – Aout 2011.*

- Les CIPAN pures (hors légumineuses) n'ont pas de réel effet fertilisant sur la culture suivante. En revanche, les **mélanges comportant une légumineuse** apporte un effet mesurable et vérifié. Cette pratique permet d'associer l'effet piège à nitrate avec l'effet fertilisant sans risquer d'augmenter les transferts.

En monoculture de maïs les principaux conseils pour diminuer les transferts sont les suivants :

- Le principal levier à la réduction des transferts en monoculture de maïs est la **maitrise de la dose d'azote** par un **calcul plus fin du besoin unitaire d'azote** par quintal. Ce calcul nécessite de bien connaître son milieu, les comportements des cultures afin de fixer un objectif de rendement adéquat. Une dose d'azote bien maitrisée peut diminuer sensiblement les reliquats post-récolte et les teneurs en nitrate des percolats et ainsi limiter les transferts vers les nappes.
- A la maitrise de la dose s'ajoutent les modalités d'apport :
  - le **fractionnement des doses**
  - les **apports localisés et enfouis**, en fonction des conditions sol/climat
  - l'ajustement de la **date d'épandage en fonction des prévisions de pluie**
 Toutes ces pratiques vont permettre d'améliorer l'efficacité des apports d'engrais et de limiter les risques d'exposition aux lessivages
- **L'enfouissement des résidus** de récolte constitue un autre levier. L'enfouissement va mobiliser la biomasse dans le sol, ce qui diminue le stock d'azote lessivable et donc limite les flux.
- Le choix de formes **d'engrais moins sensibles au lessivage et à la volatilisation** va permettre de limiter les pertes d'azote dans l'environnement. En effet, les différents paramètres du bilan d'azote d'un sol sont de mieux en mieux estimés mais les parts de volatilisation et de lixiviation reste généralement difficiles à approcher. L'essai a permis de donner des chiffres précis concernant les lixiviations en sols d'alluvions fluvio-glaciaires. Les autres paramètres étant bien connus, il s'est avéré qu'une part non négligeable de l'azote est perdue par volatilisation. Une étude spécifique plus poussée concernant ce phénomène permettrait de quantifier plus précisément ces pertes.

#### 4. Présentation des résultats concernant les résidus de pesticides

##### 4.1. Démarche d'analyse des données de transfert de produits phytopharmaceutiques

Le dispositif expérimental a permis de collecter de nombreuses données sur les transferts de molécules de 2006 à 2014, ce qui représente plus de 62 000 analyses élémentaires.

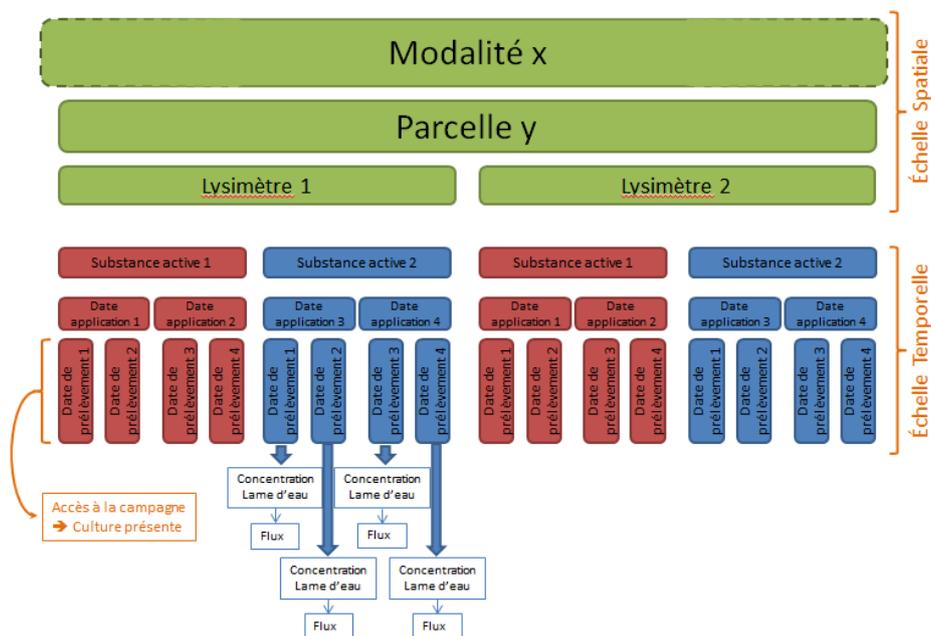
Pour aider à l'analyse de ces transferts dans le contexte du couloir de Meyzieu, d'autres informations ont été collectées : saisie des itinéraires techniques (date et dose des produits commerciaux appliqués, date des pratiques culturales, présence ou non de CIPAN, etc...), lames d'eau percolées et données météorologiques du site d'étude.

En période de percolation, la lame d'eau de chaque lysimètre est mesurée et échantillonnée une fois par semaine. La concentration de chaque substance analysée est rapportée à la lame d'eau et

aux pratiques culturales réalisées sur la parcelle. Chaque parcelle expérimentale est équipée de deux lysimètres, il y a donc deux mesures pour chaque date de prélèvement. Ce fonctionnement avec deux répétitions par parcelle élémentaire est toutefois insuffisant pour réaliser une analyse statistique des résultats, mais permet d'apprécier les variations dues à l'hydrologie locale (cf. 2. 5. Hydrologie du site).

Toutes ces informations sont stockées dans une base de données, qui permet une valorisation pluriannuelle des données, en y apportant quelques plus-values comme la récupération automatique des molécules entrant dans la composition du produit commercial appliqué sur les parcelles d'essai, ou le délai entre l'application du produit et l'analyse de l'échantillon d'eau. L'objectif est de mieux comprendre les conditions du transfert des produits phytopharmaceutiques et les relations avec les pratiques culturales.

Figure 55 - Structure des données acquises sur le dispositif



#### 4.1.1. Les variables calculées

La mesure de la lame d'eau et l'analyse de la concentration pour chaque lysimètre permettent de calculer de nouvelles variables. Elles sont présentées ci-après, et leur mode de calcul explicité. Les niveaux d'agrégation sont également abordés.

##### - Flux

Le flux (F) d'une substance active est le résultat du produit entre la concentration (C) et la lame d'eau (Q) d'un prélèvement. Il correspond à la quantité de substance active transférée vers le milieu récepteur par infiltration. Les valeurs de flux sont exprimées en mg/ha. Cette valeur est reliée directement à la date d'application de la substance active.

$$F = C \times Q \times 10$$

avec : F en mg/ha, C en µg/L, Q en mm, et 10 comme facteur de conversion de µg/L à mg/ha.

##### - Flux total

Le flux total, exprimé en mg/ha, correspond à la somme des flux au cours d'une période donnée. Cette valeur de flux total peut être calculée pour différentes périodes : mensuel, campagne culturale, entre deux applications successives.

*- Concentration Moyenne Pondérée (CMP)*

Appelée aussi concentration de flux, cette valeur correspond à la concentration moyenne d'une substance active au cours d'une période donnée (mois, campagne culturale, ...). Elle est calculée à partir de la somme des flux et des lames d'eau écoulées durant cette période :

$$\text{CMP } (\mu\text{g/L}) = \frac{\Sigma \text{ Flux (mg/ha)}}{\Sigma \text{ Lame d'eau (mm)}} * \frac{1}{10}$$

*- Fréquence de quantification*

La fréquence de quantification est le rapport entre le nombre d'analyses supérieures à la limite de quantification et le nombre total d'analyses, exprimé en %. Elle peut être calculée pour l'ensemble des analyses (toutes molécules confondues) d'un site d'étude, ou pour chacune des molécules étudiées, sur une campagne culturale ou encore pour toute la période d'étude (plusieurs campagnes culturales successives). Pour les suivis à l'échelle de la parcelle agricole, la fréquence de quantification est généralement calculée à partir de l'application de la substance, ce qui permet d'observer son comportement dans le contexte climatique de l'année et pour une ou plusieurs pratiques culturales testées et comparées.

$$\text{Freq quantification (\%)} = \frac{\text{nb analyses sup quantification}}{\text{nb analyses total}}$$

Cette fréquence traduit en partie la dynamique des transferts, et peut être utilisée pour caractériser les substances actives.

*- Délai au transfert*

Le délai au transfert correspond au nombre de jours entre l'application d'une SA et sa première quantification dans un échantillon d'eau. Cette valeur est donc relative à une application donnée.

Le délai moyen peut aussi être calculé par campagne ou sur l'ensemble des campagnes au cours desquelles la SA a été étudiée. Ce sera alors une moyenne arithmétique du nombre de jours ou de semaines. Calculé sur l'ensemble des campagnes, c'est le délai moyen de transfert qui devra être exprimé (ou pondéré) par le nombre de campagnes d'étude.

*- Temps de transfert*

Le temps de transfert correspond au nombre de jours entre l'application d'une SA et sa dernière quantification dans un échantillon d'eau. Cette valeur est donc relative à une application donnée (d'où l'importance de la codification par la date dans la base de données). Ce temps de transfert prend en compte toutes les quantifications de la SA même si au cours de la campagne il peut y avoir disparition de quantification dans quelques échantillons puis reprise des quantifications.

Le temps moyen de transfert peut être calculé par campagne ou sur l'ensemble des campagnes au cours desquelles la SA a été étudiée, c'est alors une moyenne arithmétique du nombre de jours ou de semaines : c'est le temps moyen de transfert qui devra être exprimé (ou pondéré) par le nombre de campagnes d'étude.

*- Durée de transfert*

La durée de transfert correspond au nombre de jours pendant lesquels une SA est quantifiée après son application. Cette valeur est également relative à une application donnée. Cette durée de

transfert prend en compte toutes les quantifications de la SA même si au cours de la campagne il peut y avoir disparition de quantification dans quelques échantillons puis reprise des quantifications. Il est possible de calculer la durée de transfert de la manière suivante :

$$\text{Durée de transfert (jours)} = \text{Temps de transfert (jours)} - \text{Délais au transfert (jours)}$$

#### 4.2. Récapitulatif du nombre d'échantillons analysés et répartition par modalité

Entre avril 2006 et octobre 2014, 2 884 échantillons d'eau ont été collectés sur le dispositif. Le nombre d'échantillons effectués varie selon les campagnes, les modalités étudiés et les lysimètres (cf. Tableau 1 - Nombre total d'échantillons par modalité et par lysimètre entre 2006 et 2014 et

Tableau 2 - Nombre total d'échantillons par modalité et par campagne).

Tableau 1 - Nombre total d'échantillons par modalité et par lysimètre entre 2006 et 2014

Espace rotation	Modalité	Lysimètre	Nombre d'échantillons d'eau
Rotation quadriennale	Référence	L01	137
		L02	120
		L05	103
		L06	98
		L09	101
		L10	96
		L13	114
		L14	97
	Couverture du sol	L03	134
		L04	128
		L07	100
		L08	105
		L11	85
		L12	92
		L15	96
		L16	95
Monoculture de maïs	Référence	L23	132
		L24	150
	Non labour	L21	130
		L22	144
	Economique	L17	141
		L18	145
	Faible pression d'intrants	L19	138
		L20	113
Couvert permanent	Couvert permanent	L25	63
		L26	27
Total général	-	-	<b>2 884</b>

Tableau 2 - Nombre total d'échantillons par modalité et par campagne

Espace rotation	Modalité	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	Total
Rotation quadriennale	Référence	7	61	133	111	94	76	120	122	142	866
	Couverture du sol	14	106	117	109	90	68	94	116	121	835
Monoculture de maïs	Référence	10	34	41	33	27	23	35	36	43	282
	Non labour	8	32	40	29	27	23	35	40	40	274
	Economique	11	41	42	31	25	17	42	36	41	286
	Faible pression d'intrants	9	36	36	24	23	24	30	32	37	251
Couvert permanent	Couvert permanent	-	5	12	12	9	6	9	24	13	90
<b>Total</b>		<b>59</b>	<b>315</b>	<b>421</b>	<b>349</b>	<b>295</b>	<b>237</b>	<b>365</b>	<b>406</b>	<b>437</b>	<b>2 884</b>

#### 4.3. Evolution du seuil de quantification au cours de l'étude

Le laboratoire d'analyse des échantillons d'eau est le GIRPA à Beaucouzé (49). La plupart des substances actives sont recherchées au moyen d'analyses multi-résidus, tandis que certaines nécessitent des analyses spécifiques.

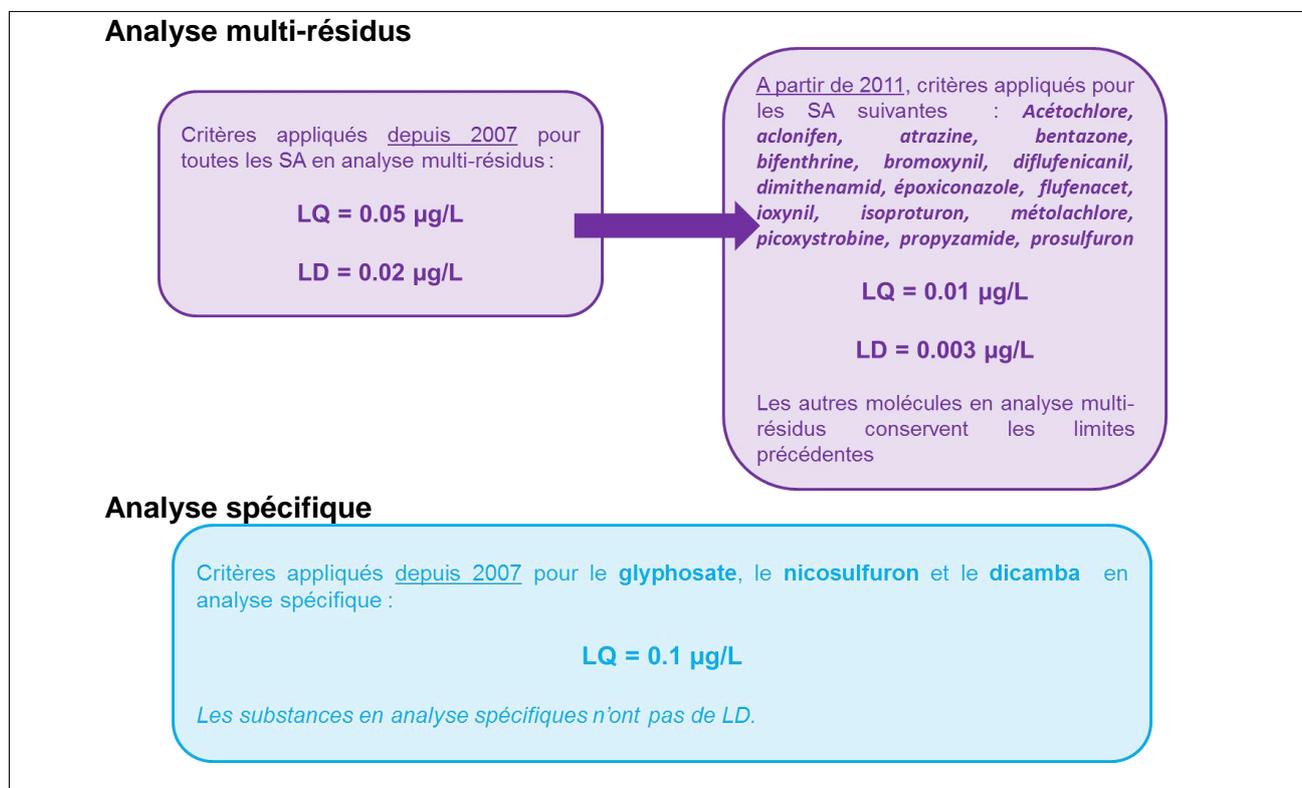
La limite de quantification (LQ) est le seuil à partir duquel le laboratoire peut attribuer une valeur de concentration à la substance active recherchée dans l'eau. Au début de l'étude, la LQ était de 0.05 µg/l pour les substances actives analysées en multi résidus, et de 0.1 µg/l pour les substances actives recherchées en analyse spécifique (ex : glyphosate et nicosulfuron). La LQ est donc variable en fonction des substances actives. Depuis 2011, les limites de quantification ont évolué pour certaines substances actives (cf.

Figure 56).

La limite de détection (Ld) du laboratoire est le seuil à partir duquel le laboratoire peut confirmer la présence d'une substance active dans l'eau, sans toutefois pouvoir lui attribuer une valeur de quantification. La limite de détection est égale à la limite de quantification divisée par 3 ( $Ld = LQ/3$ ). En deçà de ce seuil de détection, la substance est considérée comme non détectée. Il n'y a jamais de résultat d'analyse des produits phytopharmaceutiques égal à 0. Mais pour faciliter les calculs, notamment de flux, nous considérons ces résultats inférieurs au seuil de détection comme équivalents à la valeur 0.

Si la concentration de la molécule se situe entre la Ld et la LQ, le laboratoire affiche pour la substance active : d, NQ (détectée, non quantifiée). En d'autres termes, pour des valeurs en dessous de la LQ, l'analyse ne présente pas un niveau de précision permettant de donner un chiffre. La substance active est alors considérée à l'état de trace dans l'échantillon. Une valeur de concentration égale à 0 est alors affectée à l'échantillon.

Figure 56 - Evolution des limites de quantification en fonction du temps



#### 4.4. Les substances actives recherchées

La liste des substances à rechercher est établie sur plusieurs critères :

- Toutes les molécules appliquées sur la parcelle antérieurement à l'essai seront recherchées.
- Toutes les molécules utilisées au fur et à mesure sont recherchées.

Les recherches se font sur toute la durée de l'essai pour toutes les molécules.

*Un récapitulatif des produits, matières actives et date d'application par parcelle est disponible en annexe 11.*

Entre avril 2006 et octobre 2014, 73 substances actives différentes ont été recherchées dans les échantillons d'eau (cf. Tableau 3). En plus de ces substances actives, trois métabolites sont également recherchés : il s'agit de l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), métabolite du glyphosate, de la déséthylatrazine (DEA) et désisopropylatrazine (DIA), principaux métabolites de l'atrazine. Après 2014, les métabolites du S-métolachlore, l'ESA métolachlore (métolachlore acide sulfonique) et l'OXA métolachlore (métolachlore acide oxanilique) sont eux aussi recherchés. Leurs résultats seront présentés à part dans le document. Au total, 62 233 analyses ont été effectuées depuis le début de l'expérimentation.

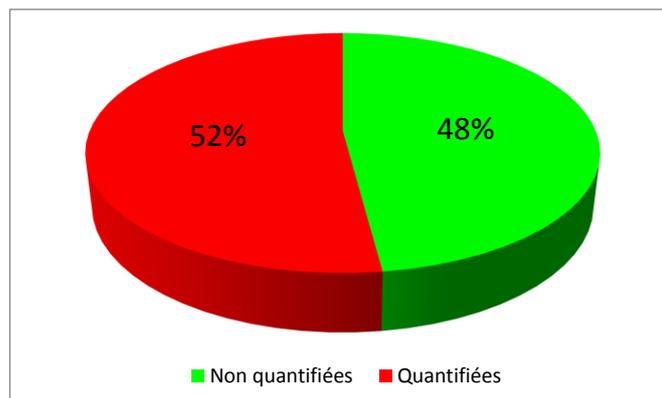
Tableau 3 - Récapitulatif de l'effort d'échantillonnage entre 2006 et 2014

Catégorie	Famille	Nom de la SA	Quantification (Oui/Non)	Nombre d'analyses
Herbicide	Acides benzoïques	dicamba	Oui	602
	Acides pyridine-carboxyliques	fluroxypyr	Non	149
	Amino phosphonates	glyphosate	Oui	2203
	Aryloxyacides	2,4-D	Non	87
		mécoprop	Non	91
	Benzothiadiazone	bentazone	Oui	573
	Callistémone	mésotrione	Non	1768
	Chloroacétamides	acétochlore	Oui	2220
		alachlore	Non	539
		diméthénamid	Oui	84
		s-métolachlor	Oui	1495
	Cyclohexanones	cycloxydime	Non	99
	Dinitroanilines	pendiméthaline	Non	516
		trifluraline	Non	172
	Diphényl-esters	aclonifen	Oui	2250
	Furanones	flurtamone	Non	1787
	Hydroxybenzotrile	bromoxynil	Oui	2267
		ioxynil	Oui	1397
	Imidazolinones	imazamox	Oui	678
	Isoxazoles	isoxaflutole	Non	622
	Isoxazolidinones	clomazone	Non	322
	Oxyacétamides	flufénacet	Oui	146
	Phénylpyrazolines	pinoxaden	Non	108
	Pyridinecarboxamides	diflufénicanil	Oui	1400
	Sulfonyl-amino-carbonyl-triazolinone	thiencarbazone-méthyl	Oui	148
	Sulfonylurées	metsulfuron-méthyle	Oui	603
		nicosulfuron	Oui	1992
		prosulfuron	Oui	1261
		rimsulfuron	Oui	137
	Triazines	atrazine	Non	228
Triazolinones	carfentrazone-éthyle	Non	607	
Triazolopyrimidines	florasulam	Non	232	
Tricétones	sulcotrione	Oui	1698	
Urées substituées	isoproturon	Oui	731	
	linuron	Non	326	
Fongicide	Acétamides	cymoxanil	Non	812
	Carboxamides	boscalid	Non	334
	Imidazoles	prochloraze	Non	604
	Phénylamide	métalaxyl M	Oui	2293
	Phénylpyrroles	fludioxonil	Non	2202
	Phtalonitriles	chlorothalonil	Oui	1332
	Pyrazole-carboxamide	fluxapyroxad	Oui	175
	Strobilurines	azoxystrobine	Oui	1425
		fluoxastrobine	Non	349
		picoxystrobine	Non	1348
		pyraclostrobine	Non	417
	Triazoles	cyproconazole	Oui	67
		époconazole	Oui	1687
		flutriafol	Oui	108
		metconazole	Oui	802
propiconazole		Oui	67	
tébuconazole		Non	121	
Triazolinthiones	prothioconazole	Non	603	
Insecticide	Carbamates	pyrimicarbe	Oui	799
		thirame	Non	24

	<b>Organo-phosphorés</b>	oxydéméton-méthyl	Non	180
	<b>Pyrethri-noïdes</b>	bétacyfluthrine	Non	487
		bifenthrine	Non	985
		cyfluthrine	Non	973
		cyperméthrine	Non	1537
		deltaméthrine	Non	1911
		lambda-cyhalothrine	Oui	723
		téfluthrine	Oui	1387
<b>Traitement semences</b>	<b>Néonicotinoïde</b>	clothianidine	Oui	266
		imidaclopride	Oui	182
		thiamethoxam	Oui	175
	-	anthraquinone	Non	137
<b>Phytoprotecteur</b>	-	cyprosulfamide	Oui	32
	-	dichlormide	Oui	105
	-	bénoxacor	Non	55
<b>Métabolite</b>	-	AMPA	Oui	2205
	-	déséthyl-atrazine	Oui	3078
	-	déisopropyl-atrazine	Non	2707
<b>Total général</b>	-	-	-	62233

Trente-cinq substances actives n'ont encore jamais été quantifiées entre 2006 et 2014 (cf. Tableau 3), soit 48% des 73 substances actives étudiées.

Figure 57- Proportion des molécules quantifiées dans les échantillons d'eau (2006 à 2014)



L'effort de recherche varie entre 24 analyses pour le thirame et 2707 analyses pour la DIA (cf. Tableau 3). Globalement, l'effort de recherche des substances actives non quantifiées est important.

Parmi les 35 substances actives, qui n'ont encore jamais été quantifiées, 8 ont été détectées au moins une fois au cours de l'étude (cf. Tableau 4).

Tableau 4 - Substances actives non quantifiées - Récapitulatif du nombre d'analyses et du nombre de détections

SA	Nombre d'analyses	Nombre de détections
2,4-D	87	0
alachlore	539	0
anthraquinone	137	0
atrazine	228	0
bénoxacor	55	0
bétacyfluthrine	487	0
bifenthrine	985	0
boscalid	334	0
carfentrazone-éthyle	607	1
clomazone	322	0
cycloxydime	99	0
cyfluthrine	973	0
cymoxanil	812	0
cyperméthrine	1537	2
déisopropyl-atrazine	2707	0
deltaméthrine	1911	2
florasulam	232	0
fludioxonil	2202	1
fluoxastrobine	349	0
fluroxypyr	149	0
flurtamone	1787	0
isoxaflutole	622	0
linuron	326	0
mécoprop	91	0
mésotrione	1768	2
oxydéméton-méthyl	180	0
pendiméthaline	516	0
picoxystrobine	1348	1
pinoxaden	108	0
prochloraze	604	1
prothioconazole	603	1
pyraclostrobine	417	0
tébuconazole	121	0
thirame	24	0
trifluraline	172	0
<b>Total</b>	23439	11

#### 4.5. Les résultats : fréquence de quantification

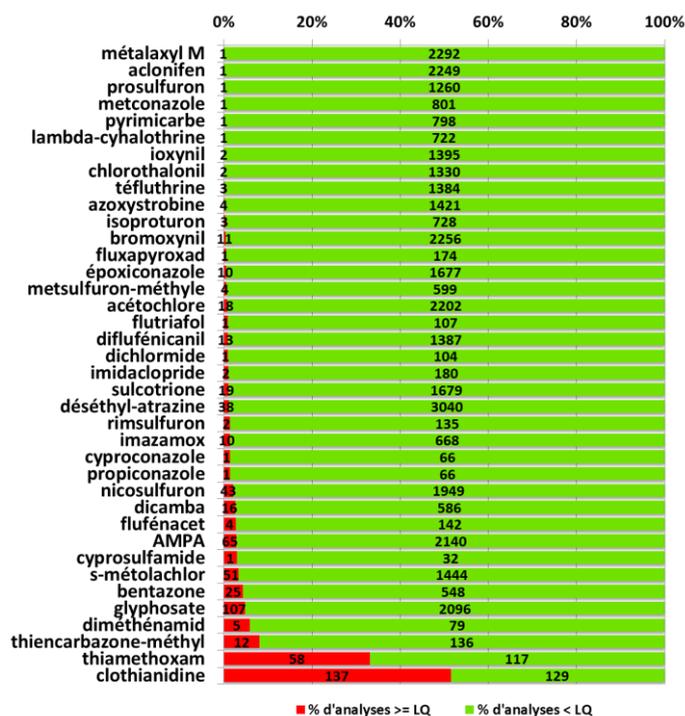
Dans cette partie seront présentés les résultats des dépassements des limites de quantification des substances actives dans les eaux de percolations entre avril 2006 et octobre 2014. Il s'agit d'une analyse globale toutes modalités confondues. Pour des raisons de lisibilité, les 35 substances actives non quantifiées ne seront pas représentées sur le graphique ci-après.

La Figure 58 présente le pourcentage de quantification par substance active. Les substances actives sont classées par pourcentage de quantification croissant. Le nombre d'analyses supérieures et inférieures à la LQ est indiqué en chiffre au centre des barres de couleur verte et rouge.

Trente-huit substances actives ont été quantifiées au moins une fois au cours de l'expérimentation.

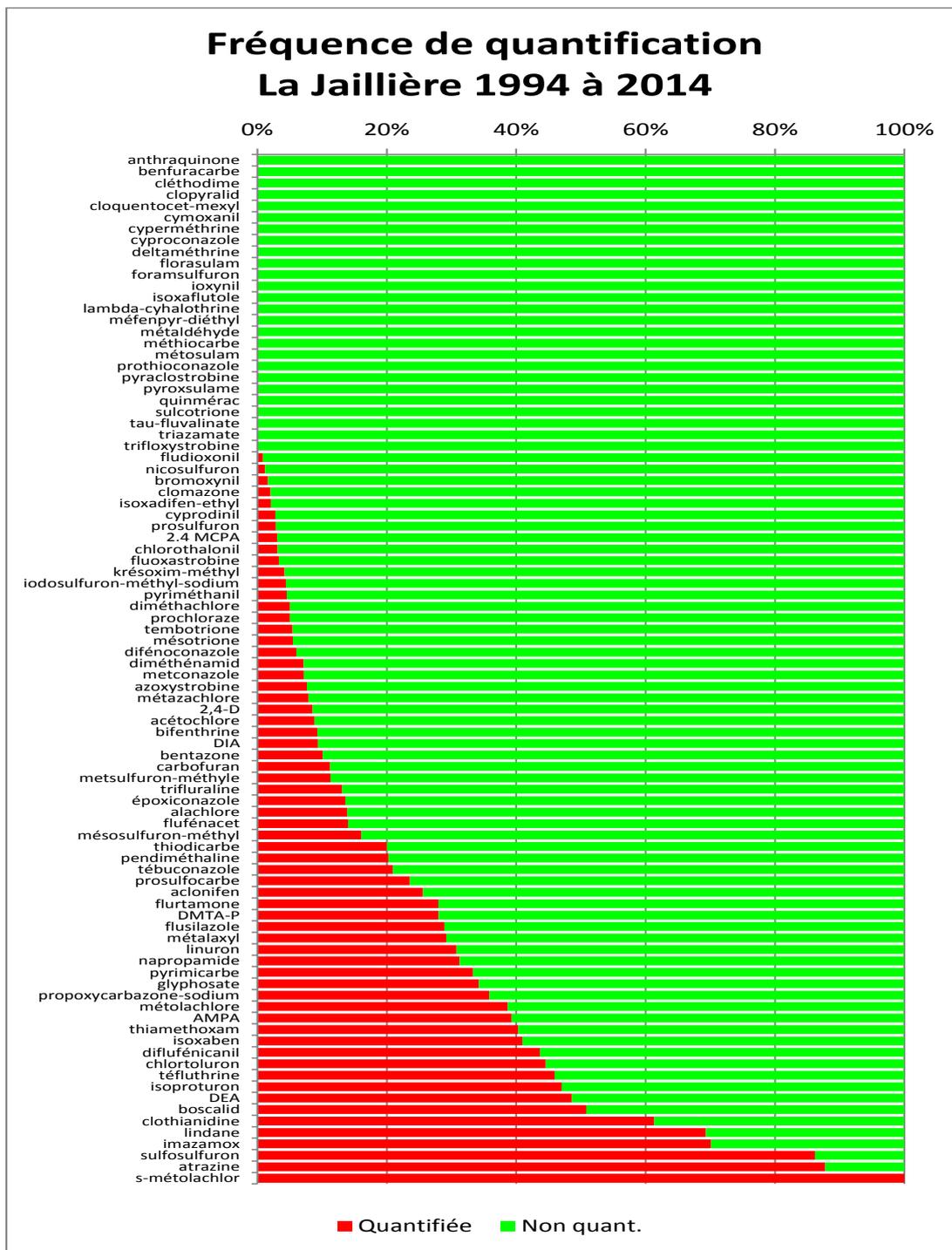
La clothianidine et le thiaméthoxam sont les deux substances actives les plus fréquemment quantifiées dans les échantillons d'eau avec respectivement 51.5 % et 33.1 % de quantification (cf. Figure 58). La clothianidine est un insecticide utilisé en application microgranulés dans la raie de semis (produit commercial : Cheyenne), mais c'est également le principal métabolite du thiaméthoxam. Sur l'ensemble de ses quantifications, la clothianidine ayant pour origine le thiaméthoxam est plus quantifiée que celle appliquée avec le produit Cheyenne... Les substances actives les plus fréquemment quantifiées et présentant un nombre de données conséquent (supérieur à 200 analyses) sont : le glyphosate (4.9 %), la bentazone (4.4 %), le S-métolachlore (3.4 %), l'AMPA (2.9%) et le nicosulfuron (2.2 %). Globalement, les fréquences de quantification des substances actives étudiées sont relativement peu élevées.

Figure 58 - Fréquence de quantification par substance active entre 2006 et 2014 (le chiffre indique le nombre d'analyses < ou > à la LQ pour chaque substance)



La figure suivante présente les résultats obtenus pour la station ARVALIS de La Jaillière (44), dont les analyses concernaient les eaux de ruissellement et de drainage. Les quantifications sont beaucoup plus importantes, du fait de la nature des écoulements, mais les molécules impliquées sont sensiblement les mêmes que celles de la station de Saint-Exupéry : s- métolachlore, clothianidine, bentazone, glyphosate, thiaméthoxam...

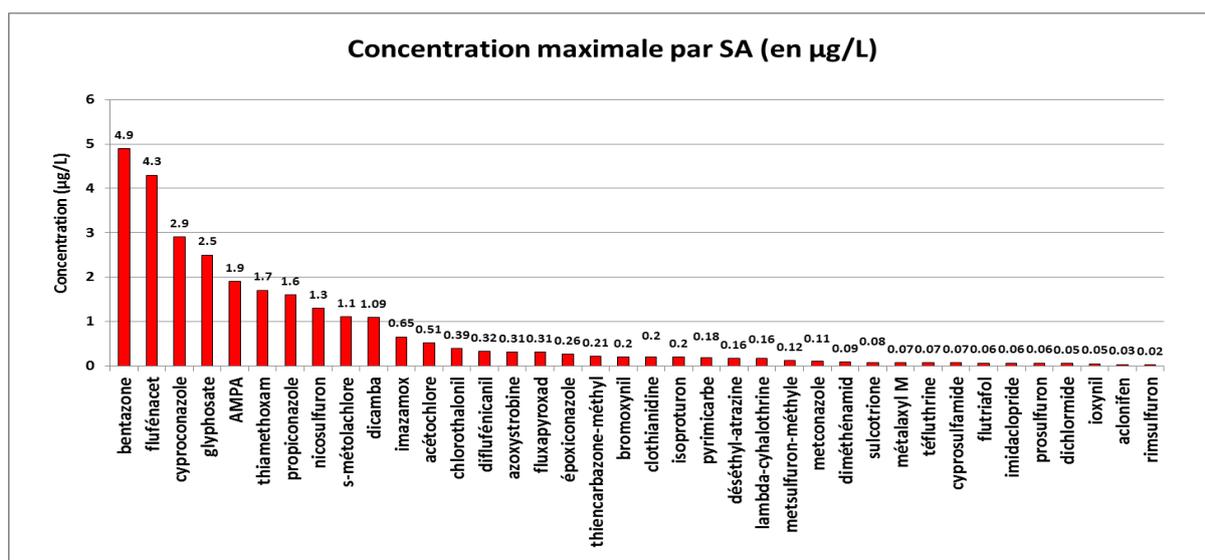
Figure 59 - Station de la Jaillière (44) - Fréquence de quantification par substance active entre 1994 et 2014



#### 4.6. Concentration maximale

Dans cette partie seront présentées les concentrations maximales (Cmax) observées par substance active dans les eaux d'infiltration. Parmi les 38 substances actives quantifiées, la bentazone est celle présentant la concentration maximale la plus élevée avec 4.9 µg/L. Au total, 10 substances actives présentent une concentration maximale supérieure ou égale à 1 µg/L, et 26 substances une Cmax supérieure à 0.1 µg/L.

Figure 60 - Concentration maximale par substance active entre 2006 et 2014



#### 4.7. Focus sur quatre substances actives

Dans cette partie, les concentrations et les flux de chaque substance active sont rattachées à sa date d'application et au lysimètre qui a recueilli l'échantillon d'eau.

Les quatre substances actives décrites ci-après sont le nicosulfuron, le S-métolachlore, le glyphosate et le bentazone. Les trois premières molécules sont des molécules très largement utilisées en grandes cultures ce qui explique l'analyse plus fine de leur fonctionnement ici. En ce qui concerne la bentazone, c'est une molécule très labile qui transfère très rapidement. L'intérêt ici est donc d'analyser son comportement en sols particulièrement filtrants.

##### 4.7.1. Nicosulfuron

- Données disponibles et récapitulatif des transferts

Entre 2006 et 2014, 37 applications de nicosulfuron ont été effectuées sur les parcelles du dispositif (cf. Tableau 5 - Récapitulatif des transferts de nicosulfuron par date d'application, par lysimètre et par dose d'application). Au total, 1 770 analyses de nicosulfuron ont été réalisées à partir des échantillons d'eau, l'effort de recherche pour cette molécule est donc très important. Le nicosulfuron est utilisé comme traitement herbicide sur maïs. Les doses d'application utilisées varient entre 7.6 et 40 g/ha. Cette substance active présente un Koc de 20.7 mL.g<sup>-1</sup> et une DT50 de 19.3 jours<sup>1</sup>. Le nicosulfuron est donc faiblement adsorbé sur les argiles et les colloïdes organiques du sol et présente une persistance relativement faible.

Les fréquences de quantification, les flux totaux, et les CMP ont été calculés pour chaque application en considérant l'ensemble des analyses effectuées entre deux dates d'application successives sur un même lysimètre. La période de temps correspondante est indiquée dans le tableau ci-dessous : date de la 1ère et de la dernière analyse post application.

A date et dose d'application égales, les transferts de nicosulfuron peuvent varier entre les deux lysimètres d'une même parcelle (cf. Tableau 5). Les transferts les plus élevés sont mesurés suite à

<sup>1</sup> Source : base de données SIRIS

l'application du 27/04/2010 à 12 g/ha sur la modalité en non-labour (lysimètre L22) : concentration maximale de 1.3 µg/L et flux total de 523.8 mg/ha.

Les lignes surlignées du tableau représentent les applications quantifiées.

Tableau 5 - Récapitulatif des transferts de nicosulfuron par date d'application, par lysimètre et par dose d'application

Espace rotation	Campagne de l'application	Modalité	Lysimètre	Date d'application	Dose d'application (g/ha)	Nbre total d'analyses	Lame d'eau total analysée (mm)	Date de la 1ère analyse post application	Date de la dernière analyse post application	Fréquence de quantification (%)	Fréquence de dépassement du 0.1 µg/l (%)	Concentration max (µg/L)	Durée de transfert (jours)	Flux total (mg/ha)	CMP (µg/L)
Monoculture de maïs	2005-2006	Réf.	L23	06/06/2006	10	12	148.8	13/07/2006	15/03/2007	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L24	06/06/2006	10	13	206.9	13/07/2006	19/04/2007	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Eco.	L17	06/06/2006	10	34	630.1	21/06/2006	14/05/2008	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	06/06/2006	10	37	718.3	21/06/2006	14/05/2008	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Faibl. pression	<b>L19</b>	<b>06/06/2006</b>	<b>10</b>	<b>67</b>	<b>1042.3</b>	<b>05/07/2006</b>	<b>17/05/2010</b>	<b>3.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.05</b>	<b>19</b>	<b>18.0</b>	<b>0.002</b>
			L20	06/06/2006	10	47	721.6	05/07/2006	17/05/2010	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		N.labour	L21	06/06/2006	10	11	208.2	17/07/2006	15/03/2007	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L22	06/06/2006	10	11	222.6	17/07/2006	15/03/2007	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2006-2007	Réf.	L23	11/05/2007	12	16	273.7	15/05/2007	14/05/2008	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L24	11/05/2007	12	20	274.7	15/05/2007	14/05/2008	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		N.labour	<b>L21</b>	<b>11/05/2007</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>315.1</b>	<b>15/05/2007</b>	<b>14/05/2008</b>	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>0.11</b>	<b>-</b>	<b>5.9</b>	<b>0.002</b>
			L22	11/05/2007	30	19	424.0	15/05/2007	14/05/2008	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2007-2008	Réf.	L23	16/05/2008	20	32	455.9	04/06/2008	17/05/2010	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L24	16/05/2008	20	38	671.1	23/05/2008	17/05/2010	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Eco.	L17	14/05/2008	20	19	302.4	23/05/2008	16/03/2009	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	14/05/2008	20	19	293.4	23/05/2008	16/03/2009	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		N.labour	<b>L21</b>	<b>23/05/2008</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>295.0</b>	<b>04/06/2008</b>	<b>16/03/2009</b>	<b>41.2</b>	<b>17.6</b>	<b>0.12</b>	<b>105</b>	<b>95.2</b>	<b>0.032</b>
			L22	14/05/2008	20	1	3.0	23/05/2008	23/05/2008	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2008-2009	Eco.	L17	12/05/2009	20	13	241.1	08/06/2009	17/05/2010	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	12/05/2009	20	16	296.8	08/06/2009	17/05/2010	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		N.labour	<b>L21</b>	<b>18/05/2009</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>278.1</b>	<b>08/06/2009</b>	<b>13/04/2010</b>	<b>53.3</b>	<b>40.0</b>	<b>0.17</b>	<b>125</b>	<b>228.8</b>	<b>0.082</b>
			<b>L22</b>	<b>18/05/2009</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>291.8</b>	<b>08/06/2009</b>	<b>13/04/2010</b>	<b>15.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.05</b>	<b>17</b>	<b>35.0</b>	<b>0.012</b>
	2009-2010	Réf.	<b>L23</b>	<b>21/05/2010</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>105.9</b>	<b>11/06/2010</b>	<b>22/03/2011</b>	<b>22.2</b>	<b>22.2</b>	<b>0.54</b>	<b>10</b>	<b>54.1</b>	<b>0.051</b>
			<b>L24</b>	<b>21/05/2010</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>117.8</b>	<b>11/06/2010</b>	<b>22/03/2011</b>	<b>10.0</b>	<b>10.0</b>	<b>1.00</b>	<b>-</b>	<b>92.8</b>	<b>0.079</b>
		Eco.	L17	21/05/2010	20	22	297.9	11/06/2010	09/05/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	21/05/2010	20	23	314.4	11/06/2010	09/05/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Faibl. pression	L19	20/05/2010	7.6	37	586.0	11/06/2010	27/11/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L20	20/05/2010	7.6	31	427.0	11/06/2010	27/11/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		N.labour	<b>L21</b>	<b>27/04/2010</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>202.1</b>	<b>17/05/2010</b>	<b>19/04/2011</b>	<b>27.3</b>	<b>27.3</b>	<b>0.62</b>	<b>35</b>	<b>436.7</b>	<b>0.216</b>
			<b>L22</b>	<b>27/04/2010</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>215.0</b>	<b>17/05/2010</b>	<b>19/04/2011</b>	<b>25.0</b>	<b>25.0</b>	<b>1.30</b>	<b>35</b>	<b>523.8</b>	<b>0.244</b>
	2010-2011	Réf.	L23	18/05/2011	20	12	166.6	06/06/2011	02/05/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L24	18/05/2011	20	16	233.5	06/06/2011	09/05/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		N.labour	<b>L21</b>	<b>25/05/2011</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>168.9</b>	<b>14/06/2011</b>	<b>09/05/2012</b>	<b>7.1</b>	<b>7.1</b>	<b>0.19</b>	<b>-</b>	<b>23.4</b>	<b>0.014</b>
			<b>L22</b>	<b>25/05/2011</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>340.7</b>	<b>06/06/2011</b>	<b>09/05/2012</b>	<b>5.3</b>	<b>5.3</b>	<b>0.12</b>	<b>-</b>	<b>3.6</b>	<b>0.001</b>
	2011-2012	Réf.	L23	05/06/2012	20	20	541.8	11/06/2012	07/06/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L24	05/06/2012	20	24	644.5	11/06/2012	07/06/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Eco.	L17	28/05/2012	20	24	644.8	11/06/2012	07/06/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	28/05/2012	20	22	546.0	11/06/2012	07/06/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		N.labour	<b>L21</b>	<b>16/05/2012</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>479.2</b>	<b>11/06/2012</b>	<b>07/06/2013</b>	<b>35.3</b>	<b>35.3</b>	<b>0.16</b>	<b>90</b>	<b>228.4</b>	<b>0.048</b>
			L22	16/05/2012	30	18	603.8	11/06/2012	07/06/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2012-2013	Réf.	L23	21/06/2013	20	24	459.8	05/07/2013	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L24	21/06/2013	20	24	531.9	05/07/2013	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000

		Eco.	L17	07/06/2013	20	14	366.6	05/07/2013	05/05/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L18	07/06/2013	20	13	349.6	05/07/2013	05/05/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
		N.labour	L21	21/06/2013	20	10	285.0	05/07/2013	05/03/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L22	21/06/2013	20	13	415.7	05/07/2013	05/03/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
	2013-2014	Eco.	L17	12/05/2014	20	10	143.1	27/05/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L18	12/05/2014	20	9	94.2	27/05/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
		N.labour	L21	30/04/2014	40	1	11.2	05/05/2014	05/05/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
				12/05/2014	20	9	105.5	27/05/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L22	30/04/2014	40	1	10.9	05/05/2014	05/05/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
				12/05/2014	20	10	144.9	27/05/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
		Rotation quadriennale	2007-2008	Réf.	L05	16/05/2008	20	56	833.3	23/05/2008	27/11/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
					L06	16/05/2008	20	65	1132.2	23/05/2008	05/07/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	Couv.			L07	16/05/2008	20	40	678.6	23/05/2008	08/03/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
				L08	16/05/2008	20	42	827.3	23/05/2008	08/03/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
	2008-2009		Réf.	L01	12/05/2009	20	80	1600.8	08/06/2009	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
				L02	12/05/2009	20	79	1500.3	08/06/2009	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
Couv.			L03	29/05/2009	20	77	1504.4	08/06/2009	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L04	29/05/2009	20	71	1484.4	08/06/2009	13/10/2014	5.6	2.8	0.25	114	90.6	0.006		
2009-2010	Réf.		L13	20/05/2010	20	26	472.9	11/06/2010	05/03/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L14	20/05/2010	20	22	334.1	21/06/2010	05/03/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
	Couv.		L15	20/05/2010	20	19	291.2	11/06/2010	05/03/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L16	20/05/2010	20	18	227.2	02/06/2010	05/03/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
2011-2012	Couv.		L07	05/04/2012	20	37	1117.0	18/04/2012	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L08	05/04/2012	20	38	1136.0	18/04/2012	13/10/2014	2.6	2.6	0.11	-	41.5	0.004		
2012-2013	Réf.		L09	13/05/2013	12	23	504.8	17/05/2013	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L10	13/05/2013	12	25	793.4	17/05/2013	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
	Couv.		L11	07/06/2013	20	17	406.8	05/07/2013	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L12	07/06/2013	20	20	496.6	05/07/2013	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
2013-2014	Réf.		L13	30/04/2014	12	10	135.4	05/05/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L14	30/04/2014	12	9	104.2	05/05/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
	Couv.		L15	25/04/2014	12	7	115.3	05/05/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
			L16	25/04/2014	12	5	62.6	27/05/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		

- Concentration et flux dans les eaux d'infiltration

L'ensemble des données de concentration et de flux de nicosulfuron collectées dans les eaux d'infiltration ont été classées en fonction du temps entre la date d'application sur le lysimètre et la date du prélèvement de l'échantillon d'eau (cf. Figure 61 - Répartition des concentrations de nicosulfuron en fonction du temps séparant l'application du prélèvement et Figure 62). La concentration maximale mesurée au cours de l'étude (1.3 µg/L) correspond à un prélèvement effectué en juin 2010 au cours des écoulements de printemps qui ont suivi l'application du 27/04/2010 sur le lysimètre L22 (modalité Non labour/monoculture de maïs). Globalement les transferts de nicosulfuron les plus importants sont mesurés au cours du printemps 2010, dans les deux mois qui ont suivi l'application. Il est intéressant de noter que des quantifications sont mesurées entre 6 mois et 1 an après application, lors de la période d'écoulement hivernal. Aucune quantification n'a été mesurée plus d'un an et demi après application.

Figure 61 - Répartition des concentrations de nicosulfuron en fonction du temps séparant l'application du prélèvement

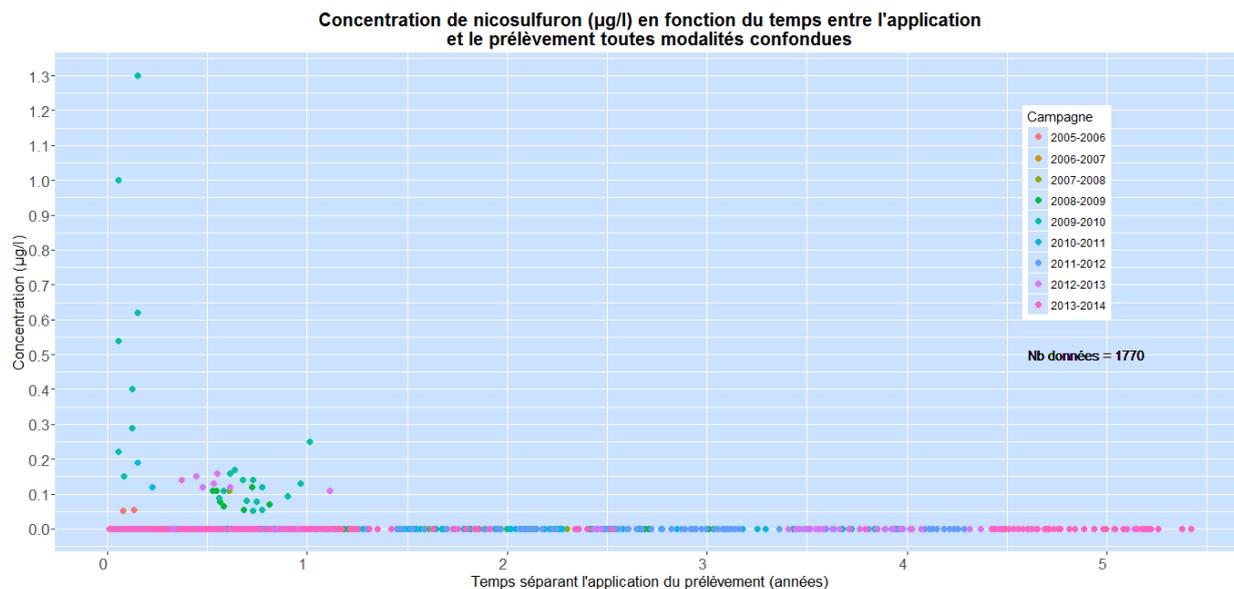
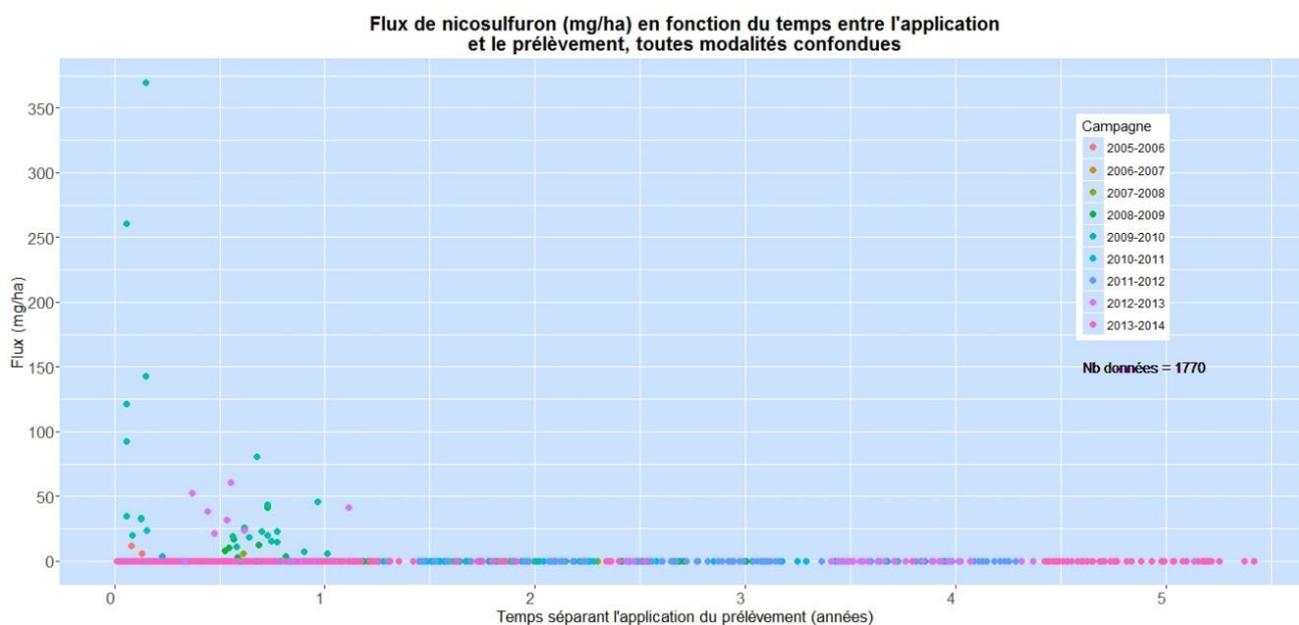


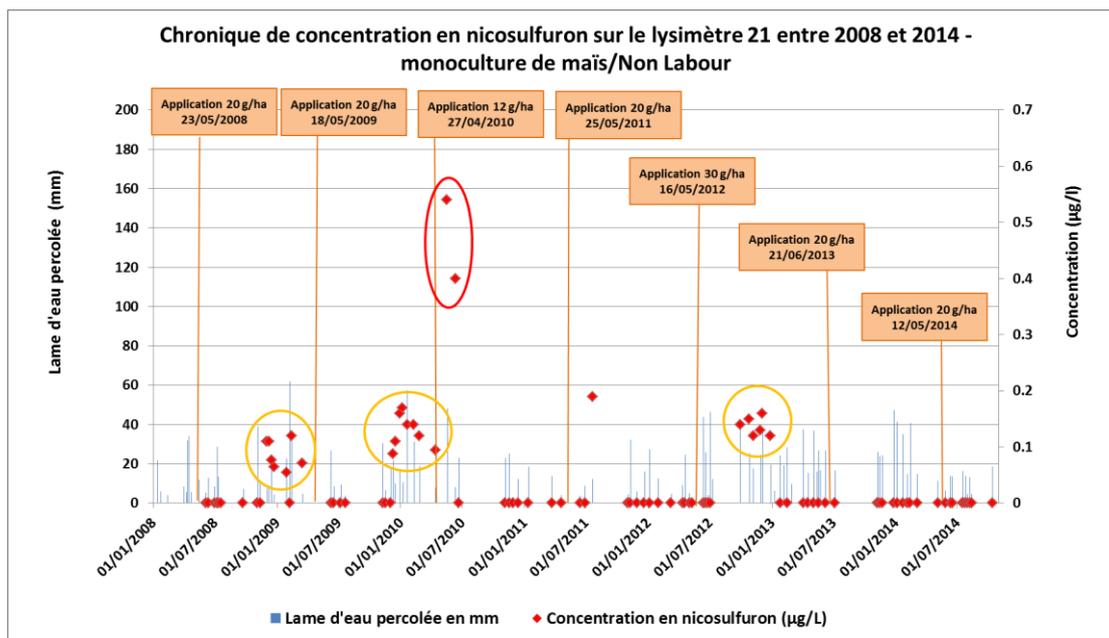
Figure 62 - Répartition des flux de nicosulfuron en fonction du temps séparant l'application du prélèvement



- Exemple de chronique de transfert

Entre 2008 et 2014, 7 applications de nicosulfuron ont effectuées sur le lysimètre 21 (Monoculture de maïs/Non Labour) (cf. Figure 63). Suite à ces applications de printemps, du nicosulfuron est parfois quantifié au cours de l'automne et de l'hiver qui suit (hiver 2009, 2010, 2013). Néanmoins, les transferts les plus élevés sont observés au cours du printemps qui suit l'application : c'est le cas du printemps 2010 où de fortes précipitations ont été observées juste après l'application.

Figure 63 - Chronique de concentration en nicosulfuron entre 2008 et 2014 - Lysimètre 21 - Monoculture de maïs / Non Labour



#### 4. 7. 2. Bentazone

- Données disponibles et récapitulatif des transferts

Entre 2010 et 2014, 6 applications de bentazone ont été effectuées sur les parcelles du dispositif (cf. Tableau 6). Au total, 351 analyses de bentazone ont été réalisées à partir des échantillons d'eau, l'effort de recherche pour cette molécule est donc relativement important. Cette substance active a été utilisée comme traitement herbicide sur soja, aux doses d'application de 1392 g/ha et 696 g/ha. Cette substance active présente un Koc de 51.5 mL.g<sup>-1</sup> et une DT50 de 10 jours<sup>2</sup>. La bentazone est donc peu fortement adsorbée sur les argiles et les colloïdes organiques du sol et présente une persistance théorique dans le sol relativement faible.

Les fréquences de quantification, les flux totaux, et les CMP ont été calculés pour chaque application en considérant l'ensemble des analyses effectuées sur un même lysimètre. La période de temps correspondante est indiquée dans le tableau 6 ci-dessous : date de la 1ère et de la dernière analyse post application.

A date et dose d'application égales, les transferts de bentazone peuvent varier entre les deux lysimètres d'une même parcelle (cf. Tableau 6). Les transferts les plus élevés sont mesurés suite à l'application du 14/06/2012 à 1392 g/ha sur la modalité de référence (lysimètre L10) : concentration maximale de 4.9 µg/L et flux total de 4411.6 mg/ha, soit un ratio flux total/ quantité appliquée de 0.317%. Le suivi de la bentazone sur ce lysimètre a été effectué au cours des deux années qui ont suivi l'application (du 18/06/2012 au 13/10/2014), en revanche les transferts n'ont été mesurés que sur une période de 45 jours correspondant aux écoulements du printemps et de l'été 2012.

<sup>2</sup> Source : base de données SIRIS

Tableau 6 - Récapitulatif des transferts de bentazone par date d'application, par lysimètre et par dose d'application

Espace rotation	de campagne l'application	Modalité	Lysimètre	Date d'application	Dose d'application (g/ha)	Nbre total d'analyses	Lame d'eau total analysée (mm)	Date de la 1 <sup>ère</sup> post analyse application	Date de la dernière post analyse application	Fréquence de quantification (%)	Fréquence de dépassement du 0.1 µg/l (%)	Concentration max (µg/L)	Durée de transfert (jours)	Flux total (mg/ha)	CMP (µg/L)	Ratio flux total/quantité appliquée (%)
Rotation quadriennale	2010-2011	Réf.	L05	09/05/2011	1392	44	881.3	06/06/2011	13/10/2014	2.3	2.3	0.23	0	4.4	0.001	0.000%
			L06	09/05/2011	1392	50	1096.2	06/06/2011	13/10/2014	12.0	10.0	4.8	112	1122.2	0.102	0.081%
		Couv.	L07	09/05/2011	696	45	1245.1	06/06/2011	13/10/2014	6.7	6.7	0.33	44	65.7	0.005	0.009%
			L08	09/05/2011	696	40	1149.2	06/06/2011	13/10/2014	7.5	7.5	1.4	63	132.7	0.012	0.019%
	2011-2012	Réf.	L09	14/06/2012	1392	38	939.7	18/06/2012	13/10/2014	5.3	5.3	0.73	7	214.1	0.023	0.015%
			L10	14/06/2012	1392	44	1465.8	18/06/2012	13/10/2014	13.6	13.6	4.9	45	4411.6	0.301	0.317%
		Couv.	L11	14/06/2012	1392	33	831.3	18/06/2012	13/10/2014	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000	0.000%
			L12	14/06/2012	1392	26	577.8	18/06/2012	13/10/2014	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000	0.000%
	2012-2013	Couv.	L15	25/06/2013	696	12	205.0	05/07/2013	13/10/2014	16.7	16.7	1.3	126	198.0	0.097	0.028%
			L16	25/06/2013	696	8	97.2	05/07/2013	13/10/2014	12.5	0.0	0.02	-	1.2	0.001	0.000%
	2013-2014	Couv.	L03	03/06/2014	1392	6	119.5	11/06/2014	13/10/2014	16.7	0.0	0.07	-	15.5	0.013	0.001%
			L04	03/06/2014	1392	5	97.2	11/06/2014	13/10/2014	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000	0.000%

- Concentration et flux dans les eaux d'infiltration

L'ensemble des données de concentration et de flux de bentazone collectées dans les eaux d'infiltration ont été classées en fonction du temps entre la date d'application sur le lysimètre et la date du prélèvement de l'échantillon d'eau (figures ci-dessous). La concentration maximale mesurée au cours de l'étude (4.9 µg/L) correspond à un prélèvement effectué début juillet 2012 au cours des écoulements estivaux qui ont suivi l'application du 14/06/2012 sur le lysimètre L10. Les transferts de bentazone les plus importants sont mesurés dans les trois mois qui suivent l'application, donc lors des écoulements de printemps et d'été. L'ensemble des quantifications à lieu dans les 6 mois suivant l'application. La période au cours de laquelle la bentazone est transférée est donc relativement courte.

Figure 64 - Répartition des concentrations de bentazone en fonction du temps séparant l'application du prélèvement

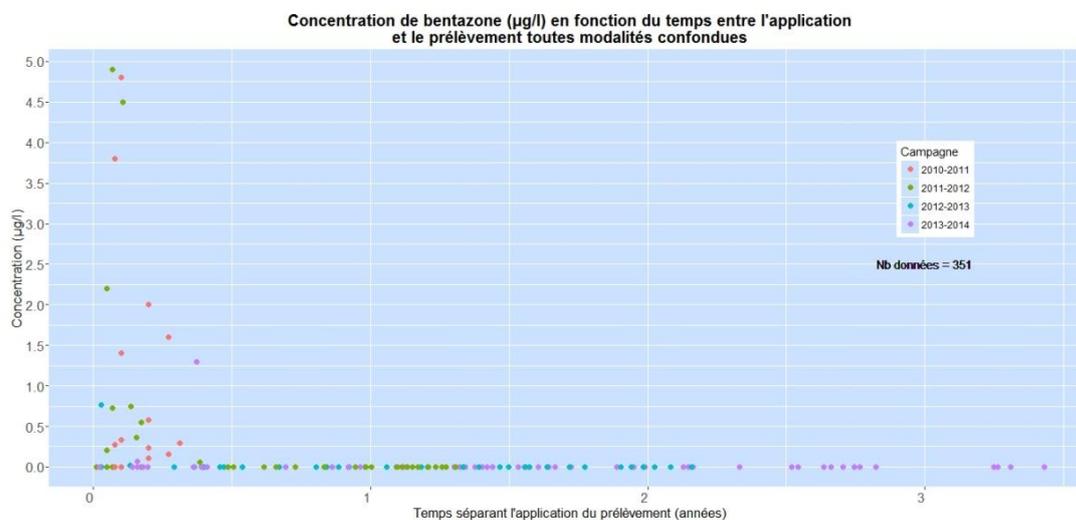
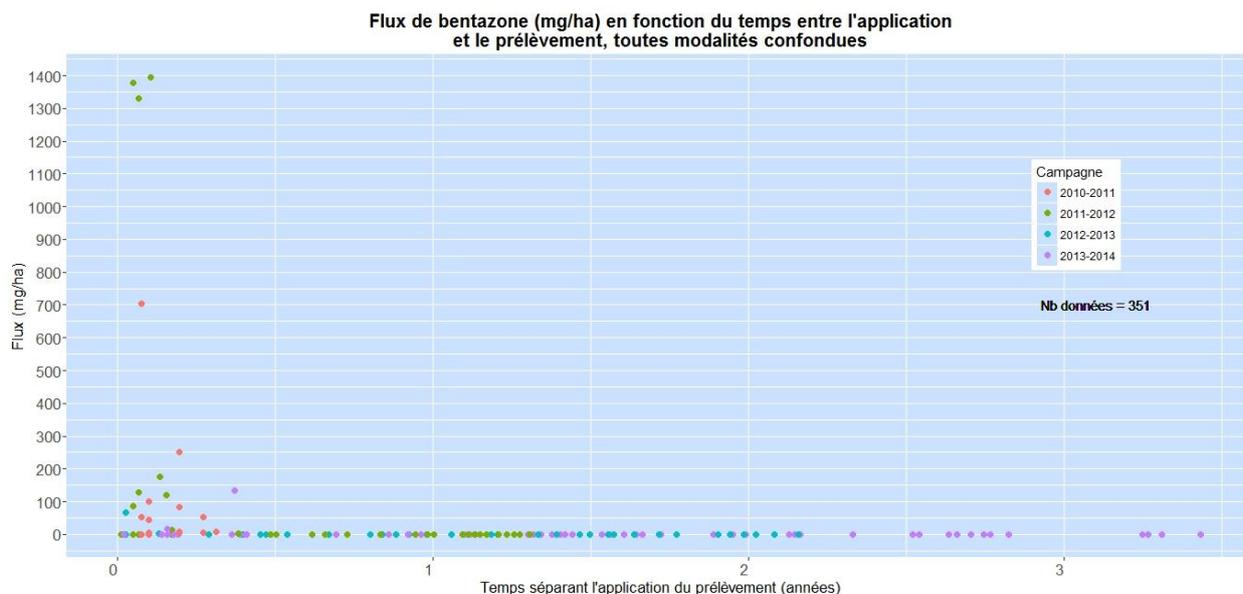


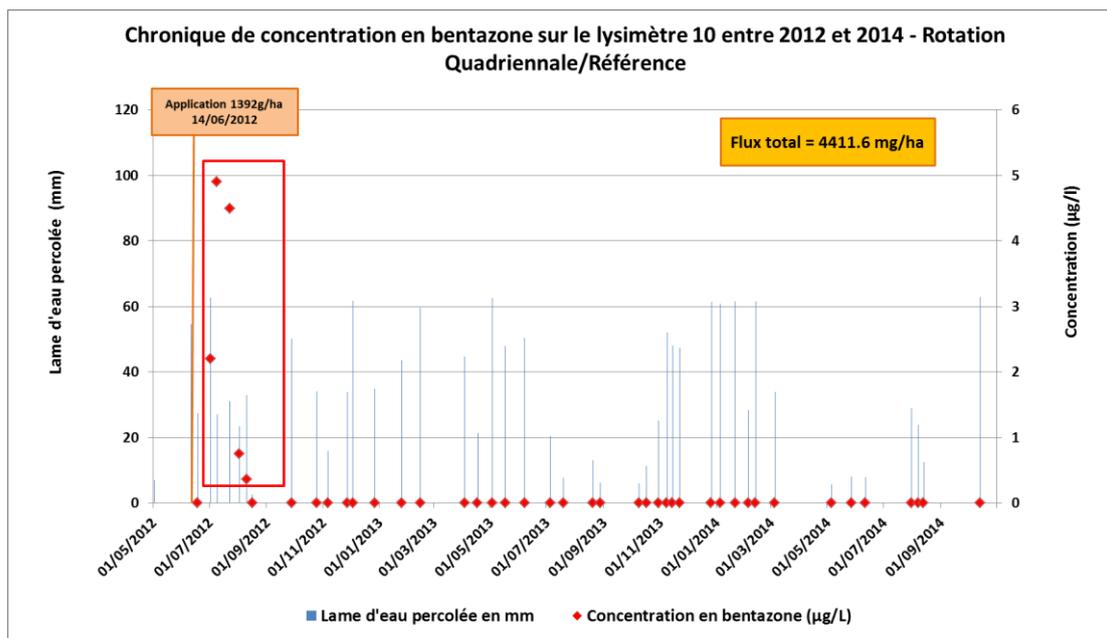
Figure 65 - Répartition des flux de bentazone en fonction du temps séparant l'application du prélèvement



- Exemple de chronique de transfert

Suite à une application de juin 2012, effectuée sur le lysimètre 10 (rotation quadriennale/référence), l'ensemble des transferts de bentazone a lieu au cours du printemps et de l'été qui suit l'application, aucun transfert n'est mesuré lors de la reprise des écoulements à l'automne. Les concentrations et les quantités transférées ont été relativement importantes : entre 0.36 et 4.9 µg/L pour un flux total de 4 412 mg/ha (0.3 % des 1 392 g appliqués). Aucune quantification n'a été mesurée sur ce lysimètre au cours des campagnes suivantes (2012-2013 et 2013-2014).

Figure 66 - Chronique de concentration en bentazone entre 2012 et 2014 - Lysimètre 10 - Rotation quadriennale / Référence



#### 4. 7. 3. Glyphosate et AMPA

- Données disponibles et récapitulatif des transferts

Entre 2005 et 2014, 12 applications de glyphosate ont été effectuées sur les parcelles du dispositif (Tableau 7). Au total, 2066 analyses de glyphosate ont été réalisées à partir des échantillons d'eau, l'effort de recherche pour cette substance active est donc très important. Le glyphosate est un herbicide utilisé pour détruire les repousses ou le couvert d'interculture avant le semis d'une culture d'hiver ou de printemps. Les doses appliquées varient entre 720 et 2 520 g/ha.

Les fréquences de quantification, les flux totaux, et les CMP ont été calculés pour chaque application en considérant l'ensemble des analyses effectuées sur un même lysimètre. La période de temps correspondante est indiquée dans le tableau 7 ci-dessous : date de la 1ère et de la dernière analyse post-application.

A date et dose d'application égales, les transferts de glyphosate peuvent varier entre les deux lysimètres d'une même parcelle (cf. Tableau 7). Les transferts les plus élevés sont mesurés suite à l'application du 15/11/2005 à 2 520 g/ha sur la modalité en monoculture de maïs/Non labour (lysimètre L21) : concentration maximale de 2.5 µg/L et flux total de 3 030.4 mg/ha (0.12 % de la quantité appliquée).

Tableau 7 - Récapitulatif des transferts de glyphosate par date d'application, par lysimètre et par dose d'application

Espace rotation	Campagne de l'application	Modalité	Lysimètre	Culture	Date d'application	Dose d'application (g/ha)	Nbre total d'analyses	Lame d'eau total analysée (mm)	Date de la 1ère analyse post application	Date de la dernière analyse post application	Fréquence de quantification (%)	Fréquence de dépassement du 0.1 µg/l (%)	Concentration max (µg/L)	Durée de transfert (jours)	Flux total (mg/ha)	CMP (µg/L)
Rotation quadriennale	2004-2005	Réf.	L09	-	29/07/2005	741.6	60	1369.8	22/11/2006	27/11/2012	1.7	1.7	0.19	0	6.3	0.000
			L10	-	29/07/2005	741.6	54	1518.5	26/11/2007	27/11/2012	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
		Couv.	L11	-	29/07/2005	741.6	52	1034.5	11/12/2006	27/11/2012	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
			L12	-	29/07/2005	741.6	56	1105.4	22/11/2006	27/11/2012	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
	2005-2006	Réf.	L01	Pois	20/07/2006	2160	135	2670.0	21/09/2006	13/10/2014	17.0	17.0	1.3	2679	2841.4	0.106
			L02	Pois	20/07/2006	2160	96	1712.2	27/09/2007	13/10/2014	7.3	7.3	0.64	2308	433.1	0.025
			L05	Blé	29/07/2006	741.6	75	1140.1	31/10/2006	03/05/2013	9.3	9.3	0.66	226	420.4	0.037
			L06	Blé	29/07/2006	741.6	68	1188.1	02/10/2007	05/07/2013	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
		Couv.	L03	Pois	20/07/2006	2160	131	2507.2	22/11/2006	13/10/2014	17.6	17.6	1.2	2639	3233.2	0.129
			L04	Pois	20/07/2006	2160	103	1932.4	22/11/2006	13/10/2014	4.9	4.9	0.64	141	278.0	0.014
			L07	Blé	29/07/2006	741.6	1	62.8	11/12/2006	11/12/2006	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
			L08	Blé	29/07/2006	741.6	2	70.6	28/11/2006	11/12/2006	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
	2006-2007	Couv.	L07	Tourne	11/12/2006	720	72	1305.0	18/12/2006	27/11/2012	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
			L08	Tourne	11/12/2006	720	74	1488.0	18/12/2006	27/11/2012	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
Monoculture de maïs	2005-2006	Réf.	L23	Maïs	15/11/2005	2520	116	1883.0	11/04/2006	13/10/2014	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
			L24	Maïs	15/11/2005	2520	147	2748.6	11/04/2006	13/10/2014	1.4	1.4	0.24	22	180.5	0.007
		N.labour	L21	Maïs	15/11/2005	2520	126	2364.8	11/04/2006	13/10/2014	6.3	6.3	2.5	343	3030.4	0.128
			L22	Maïs	15/11/2005	2520	138	3017.9	11/04/2006	13/10/2014	10.1	10.1	2	287	3952.4	0.131
		Eco.	L17	Maïs	15/11/2005	2520	127	2493.0	11/04/2006	13/10/2014	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
			L18	Maïs	15/11/2005	2520	131	2358.8	11/04/2006	13/10/2014	7.6	7.6	1.2	266	1793.2	0.076

		Faibl. pression	L19	Maïs	15/11/2005	2520	130	2208.7	11/04/2006	13/10/2014	1.5	1.5	0.75	28	101.5	0.005
		Faibl. pression	L20	Maïs	15/11/2005	2520	92	1516.6	11/04/2006	13/10/2014	0.0	0.0	0	0	0.0	0.000
Couvert permanent	2005-2006	Couv.	L25	Pois	20/07/2006	2160	54	1037.8	19/02/2007	05/03/2014	5.6	5.6	1.4	1212	318.5	0.031
			L26	Pois	20/07/2006	2160	26	405.2	14/01/2008	12/02/2014	3.8	3.8	0.33	0	57.8	0.014

- Concentration de flux dans les eaux d'infiltration

L'ensemble des données de concentration et de flux de glyphosate collectées dans les eaux d'infiltration ont été classées en fonction du temps entre la date d'application sur le lysimètre et la date du prélèvement de l'échantillon d'eau (cf. Figure 67 et Figure 68). La concentration maximale mesurée au cours de l'étude de 2.5 µg/L correspond à un prélèvement effectué à la fin du mois de novembre 2007, soit environ 2 ans après application. Des relargages de glyphosate ont été mesuré plus de 8 ans après application (campagne 2013-2014). Cette substance active peut donc être retrouvée sur de longues périodes mais de manière discontinue (pas de quantification systématique).

Figure 67 - Répartition des concentrations de glyphosate en fonction du temps séparant l'application du prélèvement

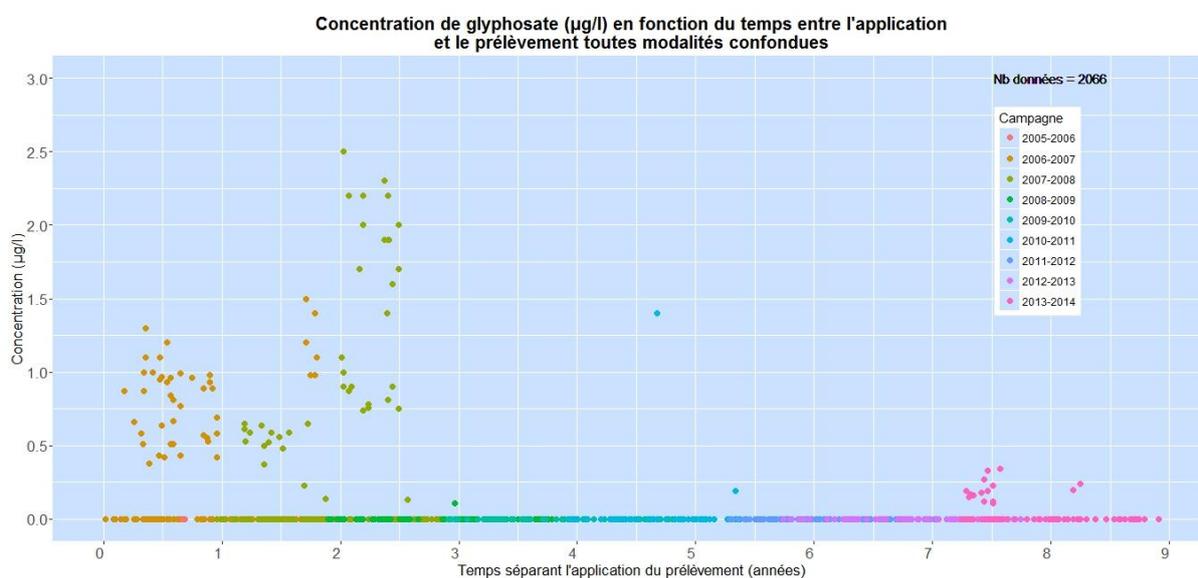
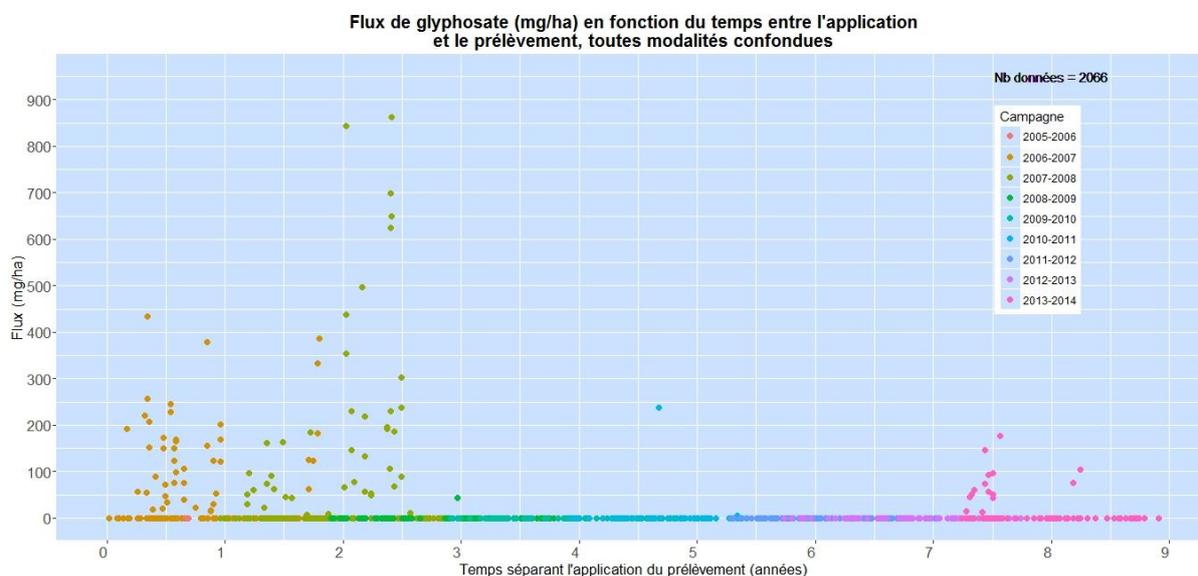


Figure 68 - Répartition des flux de glyphosate en fonction du temps séparant l'application du prélèvement



- Exemple de chronique de transfert

Suite à l'application de juillet 2006 effectuée sur le lysimètre 1 (rotation quadriennale/référence), un suivi du glyphosate et de l'AMPA a été effectué jusqu'en octobre 2014, sans qu'il y ait eu d'autres applications. Le glyphosate est retrouvé au cours des deux années qui suivent l'application (jusqu'en juin 2006). Sur cette même période, seulement 3 quantifications d'AMPA sont mesurées (concentrations de 0.13, 0.15 et 0.23 µg/L). On observe un arrêt des transferts de glyphosate pendant 5 ans puis une reprise des quantifications en octobre 2013, soit plus de 7 ans après application (cf. Figure 69 et Figure 70). Le glyphosate peut donc transféré sur une longue période. Les quantités d'AMPA transférées sont très faibles en comparaison avec celles mesurées pour sa molécule mère, respectivement 107 mg/ha d'AMPA et 2841 mg/ha de glyphosate (0.13 % de la quantité appliquée). Il semble donc qu'une partie du glyphosate appliqué ne soit pas dégradée et reste fixée dans le sol. Cette partie fixée est susceptible de transférer sur de longues périodes. En effet, le glyphosate est une substance anionique et se complexifie avec les carbonates. Hors le deuxième horizon du sol de Lyon Saint-Exupéry est riche en carbonates. De plus, il peut être fixé sur les ions métalliques. A la suite d'écoulements d'eau plus acide, il peut être libéré et être transféré. Cette hypothèse sera l'objet d'une prochaine étude avec des laboratoires spécialisés dans ce domaine.

Figure 69 - Chronique de concentration en glyphosate et AMPA entre 2006 et 2014 - Lysimètre 1 - Rotation quadriennale / Référence

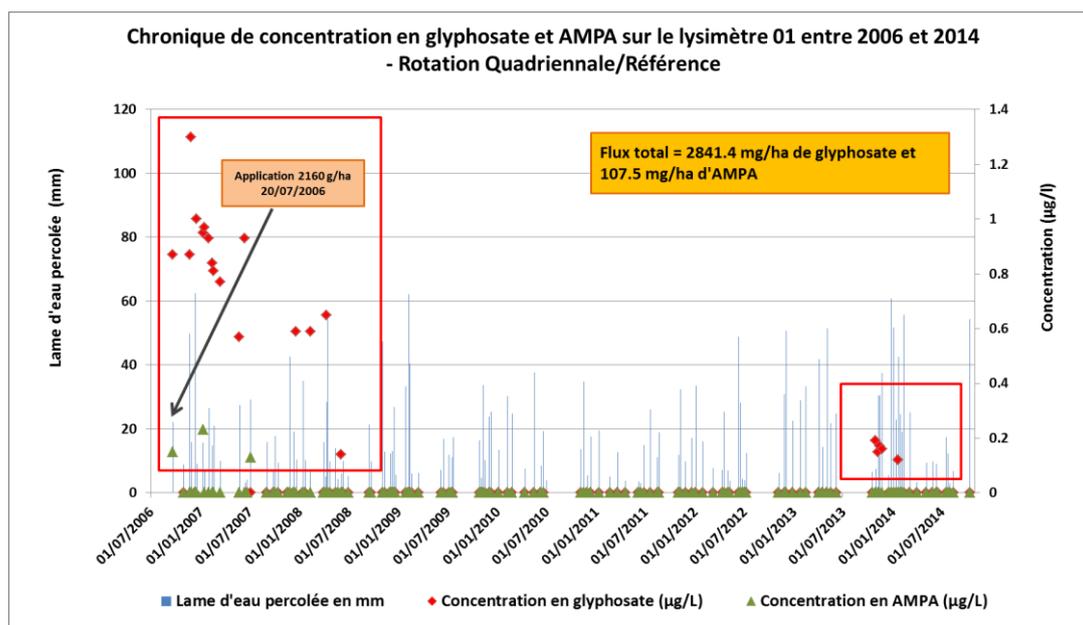
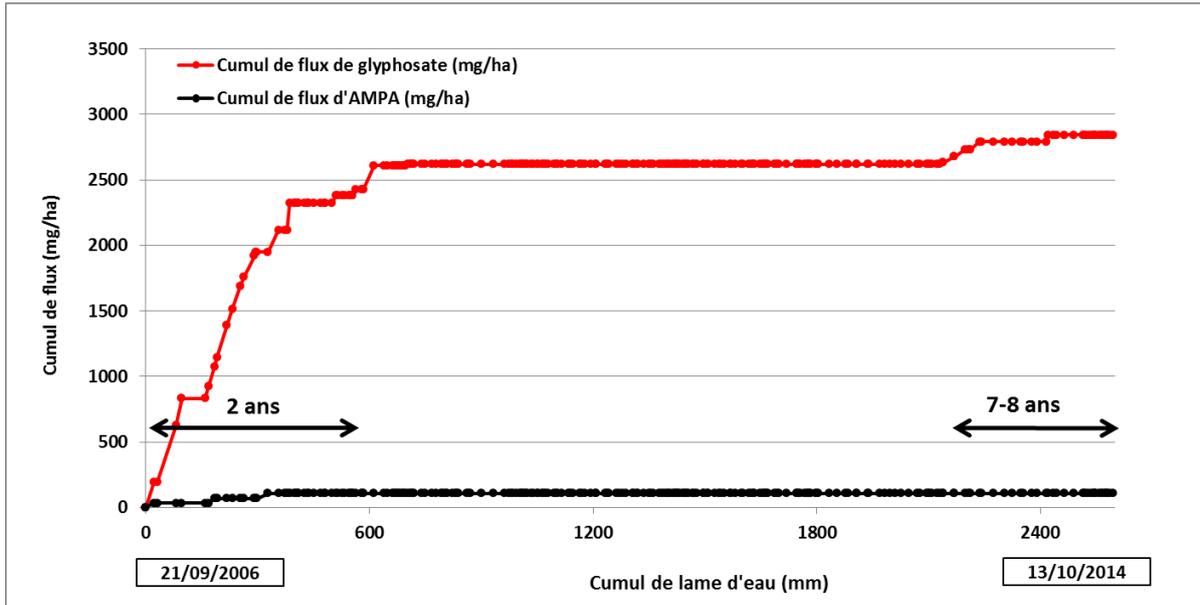


Figure 70 - Cumul de flux de glyphosate et d'AMPA en fonction du cumul de lame d'eau analysée - Application du 20/07/2006 sur le lysimètre L01 - du 21/09/2006 au 13/10/2014



On peut rapprocher ces résultats avec ceux de deux autres stations ARVALIS (Le Magneraud (17) en sols argilo-calcaire Figure 71 et Thibie (51) en sols de craie Figure 72). Ces deux sites sont équipés de cases lysimétriques tout à fait similaires à celles de Lyon Saint-Exupéry. On observe le même comportement du glyphosate dont les transferts peuvent durer de nombreuses années après l'application. On observe en parallèle que l'AMPA ne transfère qu'en très faible quantité. Il semble donc que cette molécule ne soit que très peu dégradée et doit se complexer sur certains compartiments du sol pour être régulièrement relarguée dans la solution. Ce phénomène de complexation/décomplexation n'est aujourd'hui pas totalement compris ni expliqué par la recherche fondamentale.

Figure 71 - Station du Magneraud (17) - Cumul de flux de glyphosate et d'AMPA en fonction du cumul de lame d'eau analysée - application le 06/10/2003 à 1080 g/ha

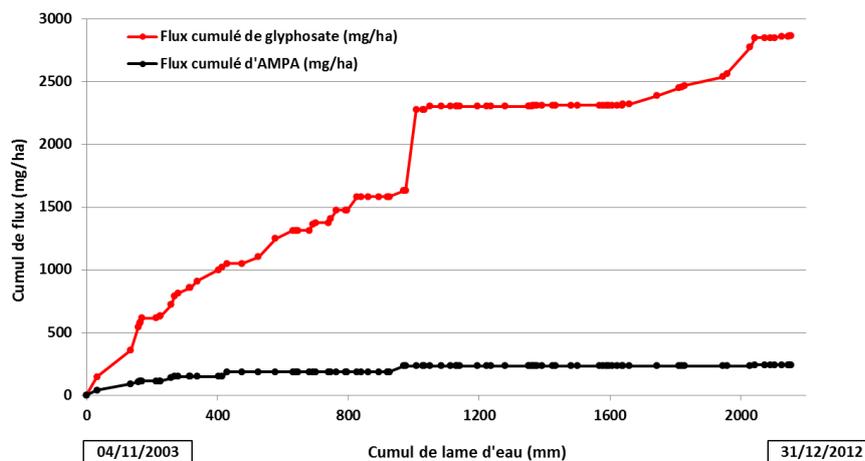
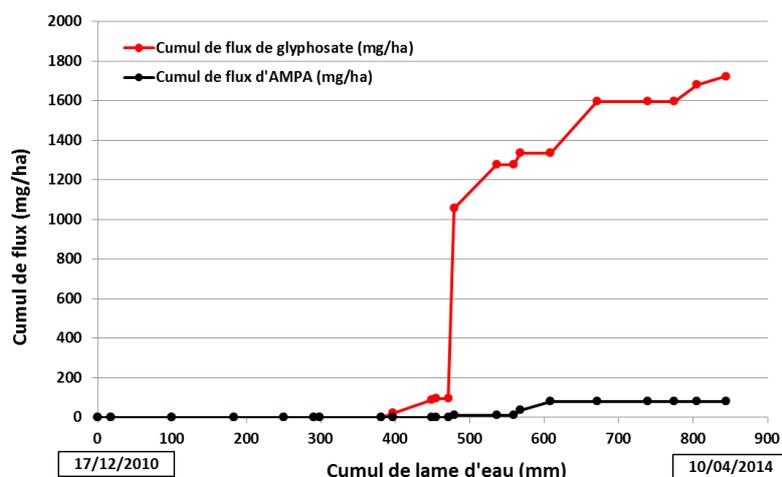


Figure 72 - Station de Thibie (51) - Cumul de flux de glyphosate et d'AMPA en fonction du cumul de lame d'eau analysée - application le 8/12/2008 à 810 g/ha



#### 4. 7. 4. S-Metachlore

- Données disponibles et récapitulatif des transferts

Entre 2007 et 2014, 22 applications de s-métolachlore ont été effectuées sur les parcelles du dispositif (cf. Tableau 8 - Récapitulatif des transferts de s-métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application). Au total, 973 analyses de s-métolachlore ont été réalisées à partir des échantillons d'eau, l'effort de recherche pour cette molécule est donc très important. Cette substance active a été utilisée comme traitement herbicide sur soja, tournesol et maïs aux doses d'application de 672, 1 248 et 1 344 g/ha. Cette substance active présente un Koc de 226 mL.g<sup>-1</sup> et une DT50 de 21 jours. Le s-métolachlore est donc peu fortement adsorbé dans le sol et présente une persistance théorique relativement faible.

Les fréquences de quantification, les flux totaux, et les CMP ont été calculés pour chaque application en considérant l'ensemble des analyses effectuées sur un même lysimètre. La période de temps correspondante est indiquée dans le tableau 8 ci-dessous : date de la 1ère et de la dernière analyse post-application.

A date et dose d'application égales, les transferts de s-métolachlore peuvent varier entre les deux lysimètres d'une même parcelle (cf. Tableau 8). Huit applications sur 22 ont engendré des transferts. Les transferts les plus élevés sont mesurés suite à l'application du 03/04/2012 à 1 344 g/ha sur la modalité de référence/Rotation quadriennale (lysimètre L02) : concentration maximale de 1.1 µg/L et flux total de 696.8 mg/ha (0.05 % de la quantité appliquée).

**Tableau 8 - Récapitulatif des transferts de s-métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application**

Espace rotation	Campagne de l'application	Modalité	Lysimètre	Culture	Date d'application	Dose d'application (g/ha)	Nbre total d'analyses	Lame d'eau total analysée (mm)	Date de la 1ère analyse post application	Date de la dernière analyse post application	Fréquence de quantification (%)	Fréquence de dépassement du 0.1 µg/l (%)	Concentration max (µg/L)	Durée de transfert (jours)	Flux total (mg/ha)	CMP (µg/L)
Rotation quadriennale	2006-2007	Couv.	L07	Tourne.	06/04/2007	672	39	679.7	15/05/2007	22/03/2011	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L08	Tourne.	06/04/2007	672	40	792.1	15/05/2007	22/03/2011	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2007-2008	Couv.	L03	Tourne.	25/04/2008	672	58	946.3	14/05/2008	08/03/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L04	Tourne.	25/04/2008	672	56	968.2	14/05/2008	08/03/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2008-2009	Réf.	L13	Tourne.	01/04/2009	1344	21	391.9	09/11/2009	22/03/2011	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L14	Tourne.	01/04/2009	1344	17	237.7	16/11/2009	22/03/2011	5.9	0.0	0.06	0	2.7	0.001
		Couv.	L15	Tourne.	06/04/2009	672	16	258.1	02/12/2009	22/03/2011	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	L16		Tourne.	06/04/2009	672	17	238.0	17/06/2009	22/03/2011	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
	2009-2010	Réf.	L09	Tourne.	19/04/2010	1344	16	279.7	17/05/2010	02/05/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L10	Tourne.	19/04/2010	1344	19	413.8	17/05/2010	02/05/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Couv.	L11	Tourne.	21/04/2010	672	14	220.8	17/05/2010	02/05/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L12	Tourne.	21/04/2010	672	13	222.4	17/05/2010	02/05/2012	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2010-2011	Réf.	L13	Tourne.	05/04/2011	1344	22	570.3	19/04/2011	17/05/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L14	Tourne.	05/04/2011	1344	20	403.5	19/04/2011	17/05/2013	10.0	0.0	0.03	386	0.8	0.000
		Couv.	L07	Soja	22/04/2011	1344	32	779.5	06/06/2011	03/05/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L08	Soja	22/04/2011	1344	33	817.7	06/06/2011	03/05/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L15	Tourne.	07/04/2011	672	17	383.0	19/04/2011	17/05/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	L16	Tourne.	07/04/2011	672	16	321.7	04/01/2012	17/05/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
	2011-2012	Réf.	L01	Tourne.	03/04/2012	1344	20	468.5	11/04/2012	07/06/2013	5.0	0.0	0.02	0	0.7	0.000
			L02	Tourne.	03/04/2012	1344	21	474.9	18/04/2012	07/06/2013	61.9	38.1	1.10	364	696.8	0.147
			L09	Soja	15/05/2012	1344	37	917.1	11/06/2012	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L10	Soja	15/05/2012	1344	44	1517.8	11/06/2012	13/10/2014	2.3	0.0	0.01	0	1.0	0.000
		Couv.	L03	Tourne.	06/04/2012	672	21	455.3	11/04/2012	07/06/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L04	Tourne.	06/04/2012	672	20	458.2	11/04/2012	07/06/2013	5.0	0.0	0.02	0	0.3	0.000
			L11	Soja	15/05/2012	1344	34	860.4	11/06/2012	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	L12	Soja	15/05/2012	1344	37	946.4	11/06/2012	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000		
	2012-2013	Réf.	L05	Tourne.	06/05/2013	1344	3	60.1	17/05/2013	05/07/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L06	Tourne.	06/05/2013	1344	2	61.4	17/05/2013	07/06/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
L13			Soja	27/05/2013	1344	2	50.3	07/06/2013	05/07/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
L14			Soja	27/05/2013	1344	2	37.0	07/06/2013	05/07/2013	50.0	0.0	0.02	0	5.2	0.014	
Couv.		L07	Tourne.	07/05/2013	672	3	92.2	17/05/2013	05/07/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
		L08	Tourne.	07/05/2013	672	3	101.6	17/05/2013	05/07/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
		L15	Soja	27/05/2013	1344	2	31.4	07/06/2013	05/07/2013	100.0	0.0	0.03	28	7.3	0.023	
		L16	Soja	27/05/2013	1344	3	44.8	07/06/2013	12/08/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000	
Monoculture de maïs	2006-2007	Eco.	L17	Maïs	20/04/2007	1248	20	402.9	15/05/2007	23/04/2008	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	Maïs	20/04/2007	1248	23	481.0	15/05/2007	23/04/2008	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2007-2008	Eco.	L17	Maïs	05/05/2008	1248	20	317.5	14/05/2008	16/03/2009	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	Maïs	05/05/2008	1248	20	307.0	14/05/2008	16/03/2009	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2008-2009	Eco.	L17	Maïs	23/04/2009	1248	12	198.0	08/06/2009	13/04/2010	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	Maïs	23/04/2009	1248	15	254.8	08/06/2009	13/04/2010	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2009-2010	Eco.	L17	Maïs	16/04/2010	1248	44	870.2	17/05/2010	17/04/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	Maïs	16/04/2010	1248	43	790.3	17/05/2010	17/04/2013	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
	2012-2013	Eco.	L17	Maïs	24/04/2013	1248	28	644.4	03/05/2013	13/10/2014	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
			L18	Maïs	24/04/2013	1248	28	645.2	03/05/2013	13/10/2014	14.3	0.0	0.02	49	13.8	0.002

- Concentration et flux dans les eaux d'infiltration

L'ensemble des données de concentration et de flux de s-métolachlore collectées dans les eaux d'infiltration ont été classées en fonction du temps entre la date d'application sur le lysimètre et la date du prélèvement de l'échantillon d'eau (cf. Figure 73 et Figure 74). La concentration maximale mesurée au cours de l'étude (1.1 µg/L) correspond à un prélèvement effectué en avril 2012 soit 15 jours après l'application du 03/04/2012 sur le lysimètre L02. Les transferts de s-métolachlore les plus importants sont mesurés dans les trois mois qui suivent l'application, donc lors des écoulements de printemps et d'été. L'ensemble des quantifications à lieu au cours de l'année suivant l'application.

Figure 73- Répartition des concentrations de s-métolachlore en fonction du temps séparant l'application du prélèvement

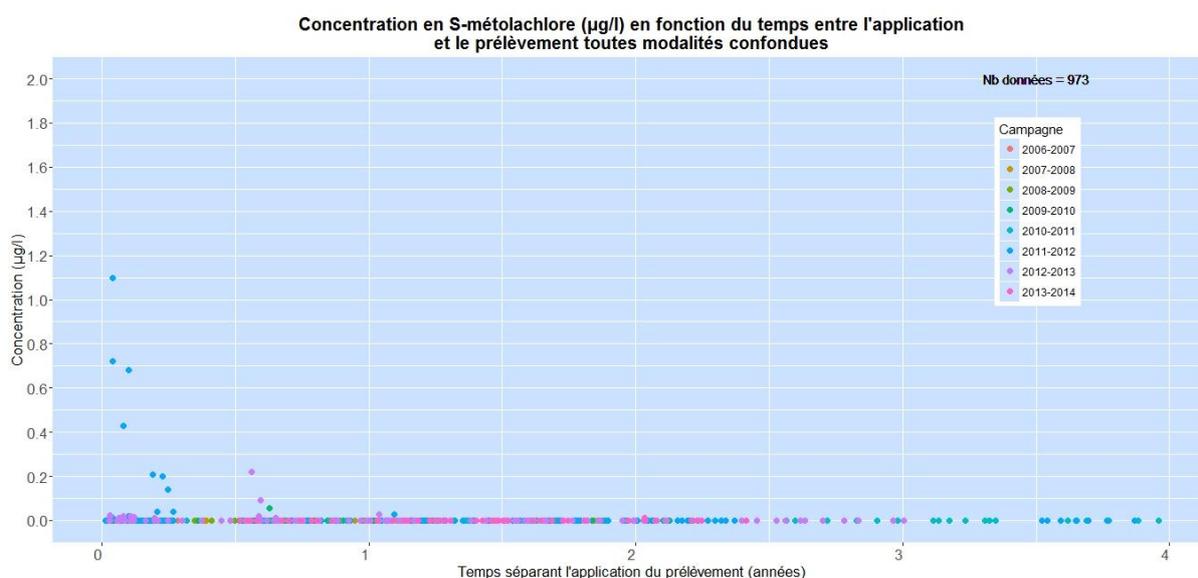
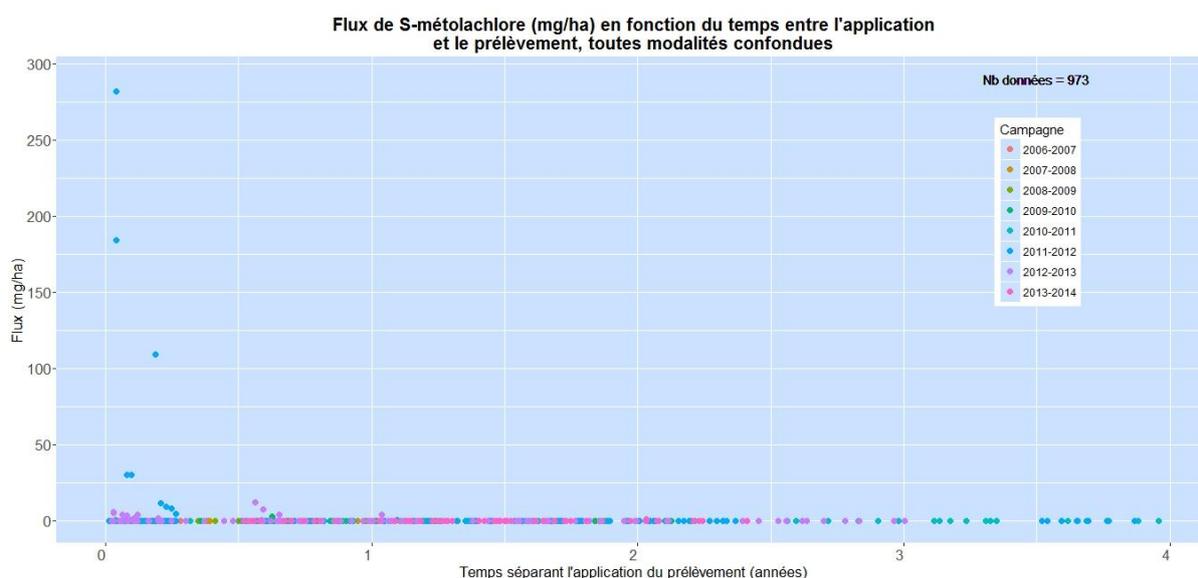


Figure 74 - Répartition des flux de s-métolachlore en fonction du temps séparant l'application du prélèvement

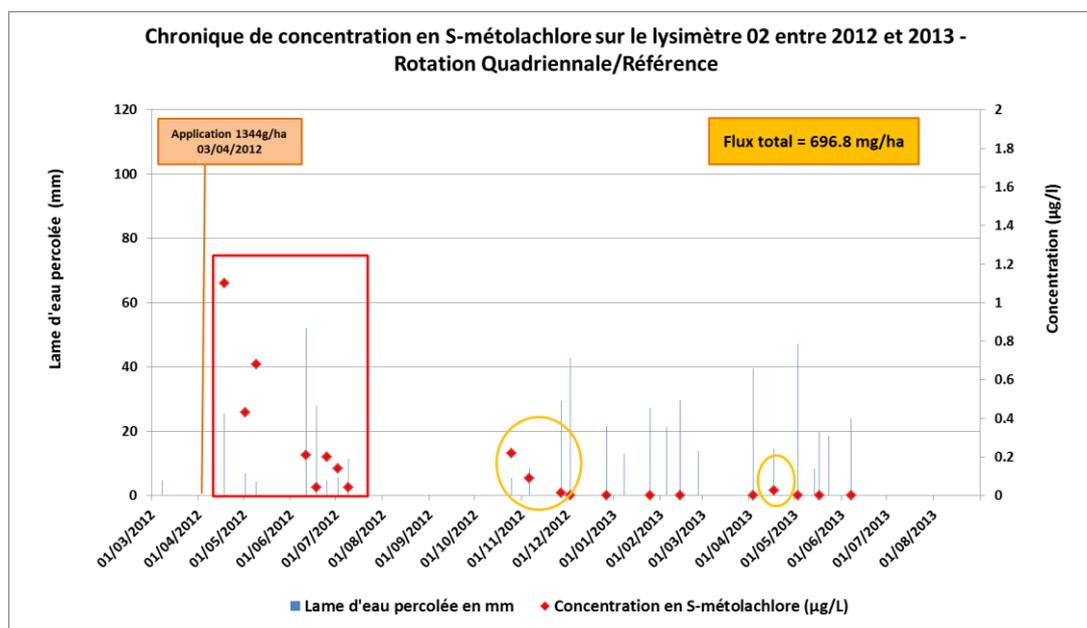


- Exemple de chronique de transfert

Suite à une application d'avril 2012 effectuée sur le lysimètre 2 (rotation quadriennale/référence), les transferts de s-métolachlore ont plutôt lieu au cours du printemps et de l'été qui suivent l'application. Par la suite, quatre quantifications ont été mesurées au cours de la campagne

suivante (2012-2013). Les concentrations correspondantes sont relativement faibles (comprises en 0.013 µg/L et 0.22 g/L).

Figure 75 - Chronique de concentration en s-métolachlore entre 2012 et 2013 - Lysimètre 2 - Rotation quadriennale / Référence



#### 4.8. Focus sur le s-métolachlore et ses métabolites : campagne 2014 -2015

Depuis 2014, des analyses ont été menées sur le s-métolachlore et plus particulièrement ses métabolites qui font eux aussi l'objet de transferts et présentent donc un risque de contamination des nappes. Les premiers résultats des métabolites sont obtenus en novembre 2014, parfois plus d'un an après l'application, ce qui peut limiter leur interprétation.

- Données disponibles et récapitulatif des transferts

Entre 2013 et 2015, 13 applications de s-métolachlore ont été effectuées sur les parcelles du dispositif (cf. Tableau 9). Au total, 430 analyses de s-métolachlore, 248 analyses d'ESA métolachlore (acide sulfonique) et 248 analyses d'OXA métolachlore (acide oxanilique), deux de ses métabolites, ont été réalisées à partir des échantillons d'eau. L'effort de recherche s'est donc aussi porté sur les deux métabolites, qui semblent présenter un risque plus élevé de contamination des eaux souterraines que le s-métolachlore (*P. Sidoli*).

Le s-métolachlore a été utilisé comme traitement herbicide sur soja, tournesol et maïs aux doses d'application 604.8, 672, 1190, 1248, 1344, 1464 et 1536 g/ha. Cette substance active représente un Koc de 226 mL.g<sup>-1</sup> et une DT50 de 21 jours. Elle est donc faiblement adsorbée dans le sol et présente une persistance théorique relativement faible.

Les fréquences de quantification, les flux totaux et les CMP de la substance active et de ses métabolites ont été calculés pour chaque application en considérant l'ensemble des analyses effectuées sur un même lysimètre. La période de temps correspondante est indiquée dans les tableaux ci-après : date de la 1<sup>ère</sup> et de la dernière analyse post-application.

A date et dose d'application égales, les transferts de s-métolachlore et de ses métabolites peuvent varier entre les deux lysimètres d'une même parcelle.

Pour le **s-métolachlore**, 10 applications sur 13 ont engendré des transferts. Les plus élevés sont mesurés suite à l'application du 24/04/2013 à 1248 g/ha sur la modalité Eco – CM / Monoculture maïs (lysimètre 18) : concentration maximale de 0.09 µg/L et flux total de 60.7 mg/ha.

Pour l'**ESA métolachlore**, l'ensemble des 13 applications ont engendrées des transferts. Les plus élevés sont mesurés suite à l'application du 29/04/2014 à 1344 g/ha sur la modalité Référence / Rotation quadriennale (lysimètre 09) : concentration maximale de 11 µg/L et flux total de 8071.2 mg/ha.

Pour l'**OXA métolachlore**, 10 applications sur 13 ont engendré des transferts. Les plus élevés sont mesurés suite à l'application du 24/04/2015 à 1464 g/ha sur la modalité Non Labour / Monoculture de maïs (lysimètre 22) : concentration maximale de 5.90 µg/L et flux total de 3343.6 mg/ha.

Tableau 9 - Récapitulatif des transferts de s-métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application

Espace rotation	Campagne de l'application	Modalité	Culture	Lysimètre	Date d'application	Dose d'application (g/ha)	Nbre total d'analyses	Lame d'eau totale analysée (mm)	Date de la 1ère analyse post application	Date de la dernière analyse post application	Fréquence de quantification (%)	Fréquence de dépassement du 0.1 µg/L (%)	Concentration max (µg/L)	Durée de transfert (jours)	Flux total (mg/ha)	CMP (µg/L)
Rotation quadriennale	2012 - 2013	Réf.	Tourn.	L05	06/05/2013	1344	21	470.9	17/05/2013	21/10/2015	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
				L06	06/05/2013	1344	19	512.7	17/05/2013	21/10/2015	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
		Couv.	Tourn.	L07	07/05/2013	605	24	682.8	17/05/2013	21/10/2015	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
				L08	07/05/2013	605	24	696.6	17/05/2013	21/10/2015	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
		Réf.	Soja	L13	27/05/2013	1344	35	874.5	07/06/2013	19/04/2016	8.6	0	0.04	335	13.8	0.002
				L14	27/05/2013	1344	32	660.2	07/06/2013	25/04/2016	3.1	0	0.02	-	5.2	0.001
	Couv.	Soja	L15	27/05/2013	1344	28	613.4	07/06/2013	21/10/2015	7.1	0	0.03	28	7.3	0.001	
			L16	27/05/2013	1344	26	479.6	07/06/2013	21/10/2015	3.8	0	0.01	-	1.5	0.000	
	2013-2014	Réf.	Tourn.	L09	29/04/2014	1344	9	144.3	05/11/2014	06/10/2015	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
				L10	29/04/2014	1344	10	254.7	05/11/2014	21/10/2015	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
		Couv.	Tourn.	L11	29/04/2014	605	9	169.1	05/11/2014	21/10/2015	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
				L12	29/04/2014	605	10	192.9	05/11/2014	21/10/2015	40.0	0	0.03	350	15.2	0.008
		Réf.	Soja	L01	05/05/2014	1344	15	387.1	05/11/2014	09/03/2016	6.7	0	0.017	-	1.1	0.000
				L02	05/05/2014	1344	13	319.1	05/11/2014	09/03/2016	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
		Couv.	Soja	L03	05/05/2014	1344	15	332.2	05/11/2014	09/03/2016	13.3	0	0.02	28	4.3	0.001
				L04	05/05/2014	1344	15	320.5	05/11/2014	09/03/2016	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
Monoculture maïs	2012 - 2013	Eco.	Maïs	L17	24/04/2013	1248	34	791.8	03/05/2013	07/04/2015	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
				L18	24/04/2013	1248	34	782.9	03/05/2013	07/04/2015	23.5	0	0.088	704	47.0	0.006
	2013-2014	FPI	Maïs	L19	10/04/2014	1248	9	154.6	05/11/2014	21/10/2015	11.1	0	0.02	-	1.7	0.001
				L21	14/04/2014	1536	6	131.8	05/11/2014	07/04/2015	16.7	0	0.01	-	7.5	0.006
	2013-2014	NL	Maïs	L22	14/04/2014	1536	6	153.7	05/11/2014	07/04/2015	50.0	0	0.02	153	13.5	0.009
				L17	24/04/2015	1464	12	291.6	07/05/2015	25/04/2016	16.7	0	0.031	15	8.4	0.003
	2014-2015	Strip Till	Maïs	L18	24/04/2015	1464	10	213.3	07/05/2015	02/11/2015	10.0	0	0.01	-	1.4	0.001
				L21	24/04/2015	1464	8	169.5	07/05/2015	09/03/2016	0.0	0	0.00	0	0.0	0.000
2014-2015	NL	Maïs	L22	24/04/2015	1464	6	169.1	07/05/2015	09/03/2016	33.3	0	0.03	15	5.7	0.003	

**Tableau 10 - Récapitulatif des transferts d'ESA métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application**

Espace rotation	Campagne de l'application	Modalité	Culture	Lysimètre	Date d'application	Dose d'application (g/ha)	Nbre total d'analyses	Lame d'eau totale analysée (mm)	Date de la 1ère analyse post application	Date de la dernière analyse post application	Fréquence de quantification (%)	Fréquence de dépassement du 0.1 µg/L (%)	Concentration max (µg/L)	Durée de transfert (jours)	Flux total (mg/ha)	CMP (µg/L)
Rotation quadriennale	2012 - 2013	Réf.	Tourn.	L05	06/05/2013	1344	8	144.8	05/11/2014	21/10/2015	100.0	100.0	0.75	350	604.5	0.417
				L06	06/05/2013	1344	7	168.1	05/11/2014	21/10/2015	100.0	100.0	0.72	350	693.3	0.412
		Couv.	Tourn.	L07	07/05/2013	605	11	217.2	05/11/2014	21/10/2015	18.2	18.2	0.20	47	147.5	0.068
				L08	07/05/2013	605	10	220.1	05/11/2014	21/10/2015	80.0	80.0	0.34	198	379.0	0.172
		Réf.	Soja	L13	27/05/2013	1344	15	398.1	05/11/2014	19/04/2016	100.0	100.0	0.99	531	1941.6	0.488
				L14	27/05/2013	1344	13	247.9	05/11/2014	25/04/2016	100.0	100.0	1.10	537	1145.9	0.462
	2013-2014	Couv.	Soja	L15	27/05/2013	1344	10	179.4	05/11/2014	21/10/2015	60.0	60.0	0.26	153	279.2	0.156
				L16	27/05/2013	1344	9	150.08	05/11/2014	21/10/2015	66.7	66.7	0.46	183	337.4	0.225
		Réf.	Tourn.	L09	29/04/2014	1344	9	144.3	05/11/2014	06/10/2015	100.0	100.0	11.00	335	8071.2	5.592
				L10	29/04/2014	1344	10	254.7	05/11/2014	21/10/2015	100.0	100.0	7.80	350	7603.4	2.986
		Couv.	Tourn.	L11	29/04/2014	605	9	169.1	05/11/2014	21/10/2015	100.0	100.0	3.60	350	2332.6	1.380
				L12	29/04/2014	605	10	192.9	05/11/2014	21/10/2015	100.0	100.0	2.40	350	2203.4	1.142
		Réf.	Soja	L01	05/05/2014	1344	15	387.1	05/11/2014	09/03/2016	93.3	93.3	5.70	477	5479.7	1.416
				L02	05/05/2014	1344	13	319.1	05/11/2014	09/03/2016	100.0	100.0	4.80	490	4410.1	1.382
		Couv.	Soja	L03	05/05/2014	1344	15	332.2	05/11/2014	09/03/2016	100.0	100.0	4.40	490	4765.1	1.434
				L04	05/05/2014	1344	15	320.5	05/11/2014	09/03/2016	100.0	100.0	7.00	490	7019.4	2.190
Monoculture maïs	2012 - 2013	Eco.	Maïs	L17	24/04/2013	1248	6	147.4	05/11/2014	07/04/2015	100.0	100.0	1.40	153	1486.3	1.009
				L18	24/04/2013	1248	6	137.6	05/11/2014	07/04/2015	83.3	83.3	1.70	106	682.3	0.496
	2013-2014	FPI	Maïs	L19	10/04/2014	1248	9	154.6	05/11/2014	21/10/2015	66.7	66.7	0.82	153	776.5	0.502
				NL	Maïs	L21	14/04/2014	1536	6	131.8	05/11/2014	07/04/2015	100.0	100.0	1.90	153
	L22	14/04/2014	1536			6	153.7	05/11/2014	07/04/2015	100.0	100.0	2.90	153	2739.5	1.782	
	2014-2015	Strip Till	Maïs	L17	24/04/2015	1464	12	291.6	07/05/2015	25/04/2016	100.0	100.0	1.60	354	2496.4	0.856
				L18	24/04/2015	1464	10	213.3	07/05/2015	25/04/2016	100.0	100.0	2.90	354	3195.6	1.498
		NL	Maïs	L21	24/04/2015	1464	8	169.5	07/05/2015	09/03/2016	100.0	100.0	4.90	307	4780.1	2.820
L22				24/04/2015	1464	6	169.1	07/05/2015	09/03/2016	100.0	100.0	8.90	307	8876.3	5.251	

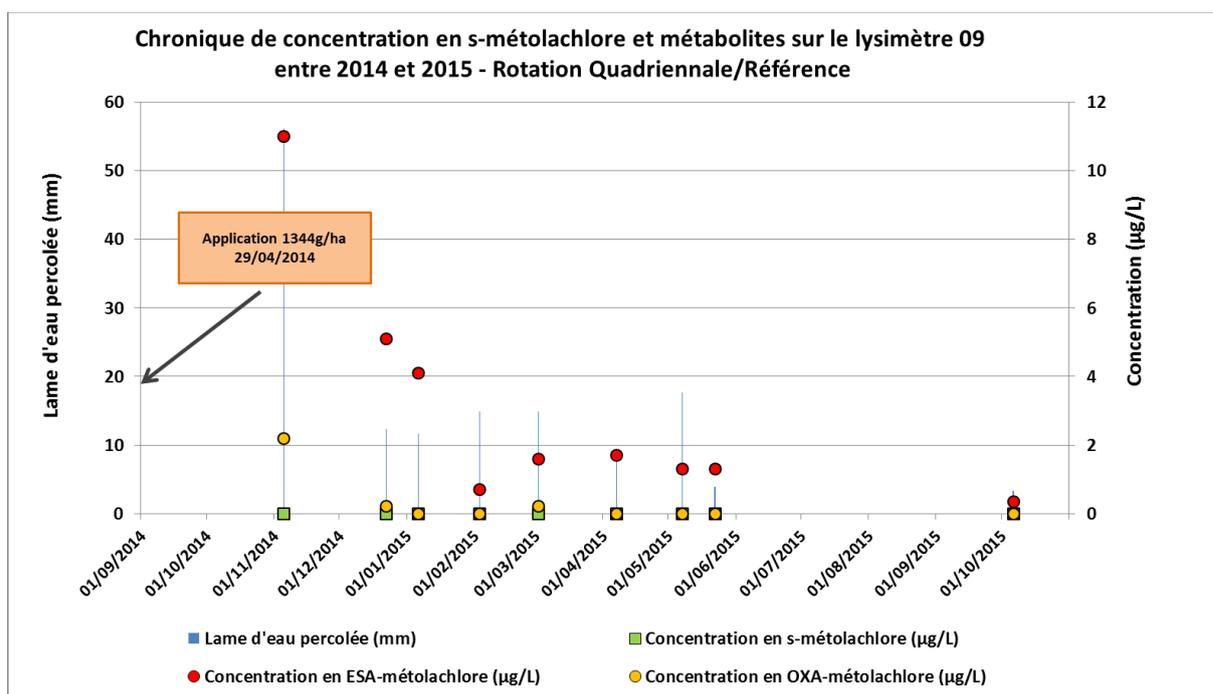
**Tableau 11 - Récapitulatif des transferts d'OXA métolachlore par date d'application, par lysimètre et par dose d'application**

Espace rotation	Campagne de l'application	Modalité	Culture	Lysimètre	Date d'application	Dose d'application (g/ha)	Nbre total d'analyses	Lame d'eau totale analysée (mm)	Date de la 1ère analyse post application	Date de la dernière analyse post application	Fréquence de quantification (%)	Fréquence de dépassement du 0.1 µg/L (%)	Concentration max (µg/L)	Durée de transfert (jours)	Flux total (mg/ha)	CMP (µg/L)
Rotation quadriennale	2012 - 2013	Réf.	Tourn.	L05	06/05/2013	1344	8	144.8	05/11/2014	21/10/2015	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
				L06	06/05/2013	1344	7	168.1	05/11/2014	21/10/2015	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Couv.	Tourn.	L07	07/05/2013	605	11	217.2	05/11/2014	21/10/2015	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
				L08	07/05/2013	605	10	220.1	05/11/2014	21/10/2015	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Réf.	Soja	L13	27/05/2013	1344	15	398.1	05/11/2014	19/04/2016	26.7	26.7	0.32	245	184.7	0.046
				L14	27/05/2013	1344	13	247.9	05/11/2014	25/04/2016	46.2	46.2	0.46	362	300.3	0.121
	2013-2014	Couv.	Soja	L15	27/05/2013	1344	10	179.4	05/11/2014	21/10/2015	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
				L16	27/05/2013	1344	9	150.08	05/11/2014	21/10/2015	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Réf.	Tourn.	L09	29/04/2014	1344	9	144.3	05/11/2014	06/10/2015	33.3	33.3	2.20	117	1292.1	0.895
				L10	29/04/2014	1344	10	254.7	05/11/2014	21/10/2015	50.0	50.0	1.60	153	1186.3	0.466
		Couv.	Tourn.	L11	29/04/2014	605	9	169.1	05/11/2014	21/10/2015	33.3	33.3	0.45	62	298.6	0.177
				L12	29/04/2014	605	10	192.9	05/11/2014	21/10/2015	60.0	60.0	0.77	153	588.1	0.305
		Réf.	Soja	L01	05/05/2014	1344	15	387.1	05/11/2014	09/03/2016	20.0	20.0	0.20	153	134.9	0.035
				L02	05/05/2014	1344	13	319.1	05/11/2014	09/03/2016	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.000
		Couv.	Soja	L03	05/05/2014	1344	15	332.2	05/11/2014	09/03/2016	6.7	6.7	0.18	-	111.7	0.034
				L04	05/05/2014	1344	15	320.5	05/11/2014	09/03/2016	20.0	20.0	0.29	117	264.9	0.083
Monoculture maïs	2012 - 2013	Eco.	Maïs	L17	24/04/2013	1248	6	147.4	05/11/2014	07/04/2015	16.7	16.7	0.23	-	143.8	0.098
				L18	24/04/2013	1248	6	137.6	05/11/2014	07/04/2015	33.3	33.3	0.14	70	47.1	0.034
	2013-2014	FPI	Maïs	L19	10/04/2014	1248	9	154.6	05/11/2014	21/10/2015	11.1	11.1	0.12	-	72.3	0.047
				NL	Maïs	L21	14/04/2014	1536	6	131.8	05/11/2014	07/04/2015	83.3	83.3	1.00	153
	L22	14/04/2014	1536			6	153.7	05/11/2014	07/04/2015	83.3	83.3	1.80	153	1380.5	0.898	
	2014-2015	Strip Till	Maïs	L17	24/04/2015	1464	12	291.6	07/05/2015	25/04/2016	8.3	8.3	0.18	-	26.3	0.009
				L18	24/04/2015	1464	10	213.3	07/05/2015	25/04/2016	40.0	40.0	0.86	45	334.0	0.157
		NL	Maïs	L21	24/04/2015	1464	8	169.5	07/05/2015	09/03/2016	87.5	87.5	1.80	307	1170.4	0.690
L22				24/04/2015	1464	6	169.1	07/05/2015	09/03/2016	66.7	66.7	5.90	307	3343.6	1.978	

- Exemple de chronique de transfert

Suite à l'application d'avril 2014 effectuée sur le lysimètre 9 (rotation quadriennale référence), un suivi du s-métolachlore et de ses deux métabolites, ESA et OXA, a été effectué jusqu'en octobre 2015 sans qu'il n'y ait eu d'autres applications. Le s-métolachlore n'a pas transféré sur ce lysimètre, tandis que l'OXA a été quantifié 3 fois et l'ESA 10 fois (à chaque analyse). L'ESA métolachlore transfère principalement au cours de l'hiver et du printemps qui suivent l'application avec un pic très important au premier relevé (11 µg/L). L'OXA métolachlore suit aussi cette dynamique de transfert mais dans des proportions plus faibles avec un pic de concentration à 2,2 µg/L.

Figure 76 - chronique de concentration en s-métolachlore et métabolites sur le lysimètre 09 entre 2014 et 2015 - rotation quadriennale/référence



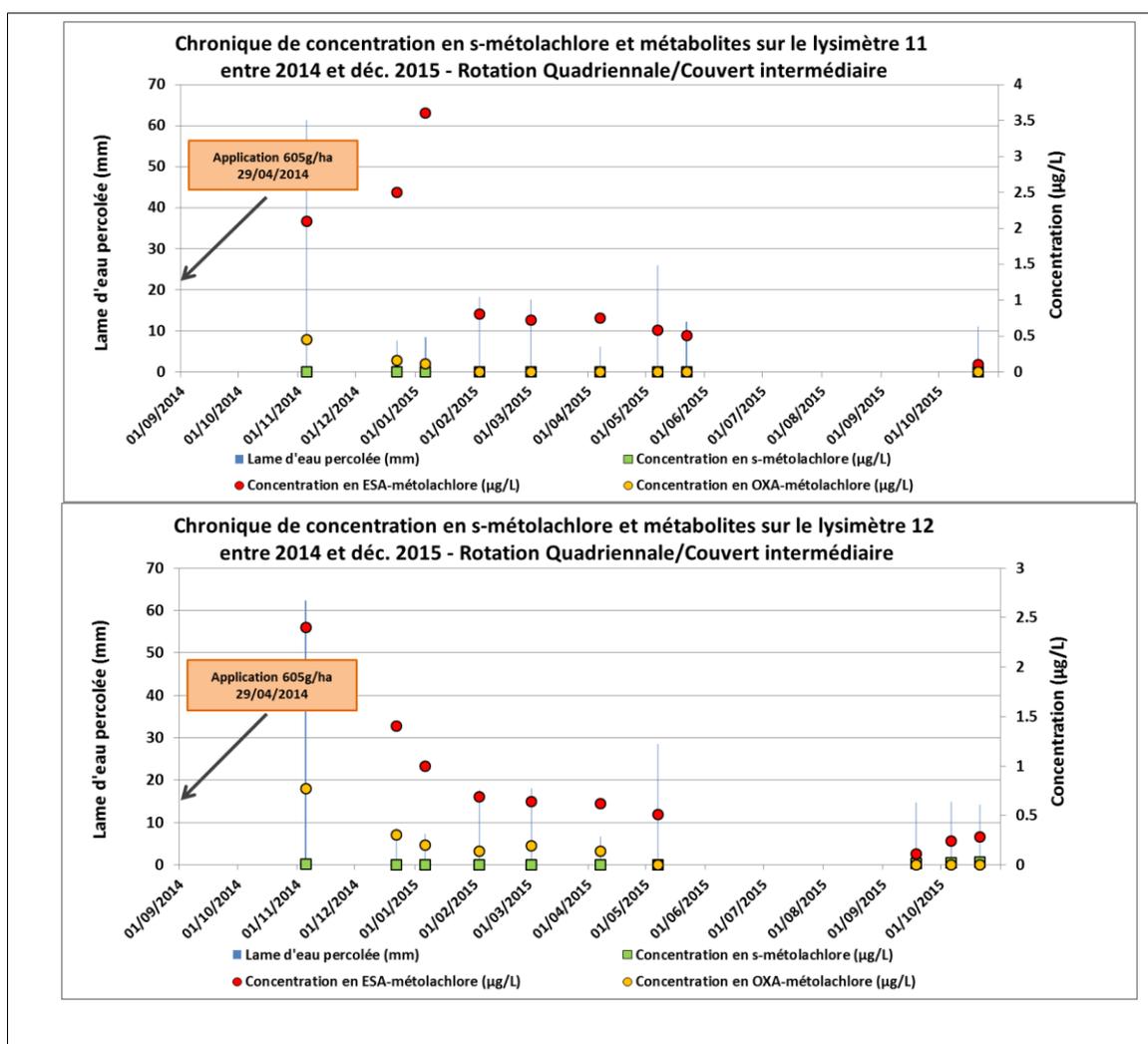
Ces relevés ne retracent qu'une année de transfert, et ne sont pas scientifiquement exploitables ni transposables à d'autres années, parcelles ou situations. Il est indispensable de disposer d'une analyse pluriannuelle pour envisager de pouvoir présenter une dynamique de transfert plus sûre de cette substance active et de ses métabolites.

Au vu des résultats des analyses par lysimètre, on peut cependant supposer que l'ESA métolachlore est le métabolite qui transfère le plus, que ce soit en termes de concentration ou de flux. L'OXA métolachlore n'est pas à négliger, ses concentrations et ses transferts sont supérieurs à ceux du s-métolachlore mais restent largement inférieurs à ceux de l'ESA métolachlore.

- Autres analyses issues de la recherche des métabolites du s-métolachlore

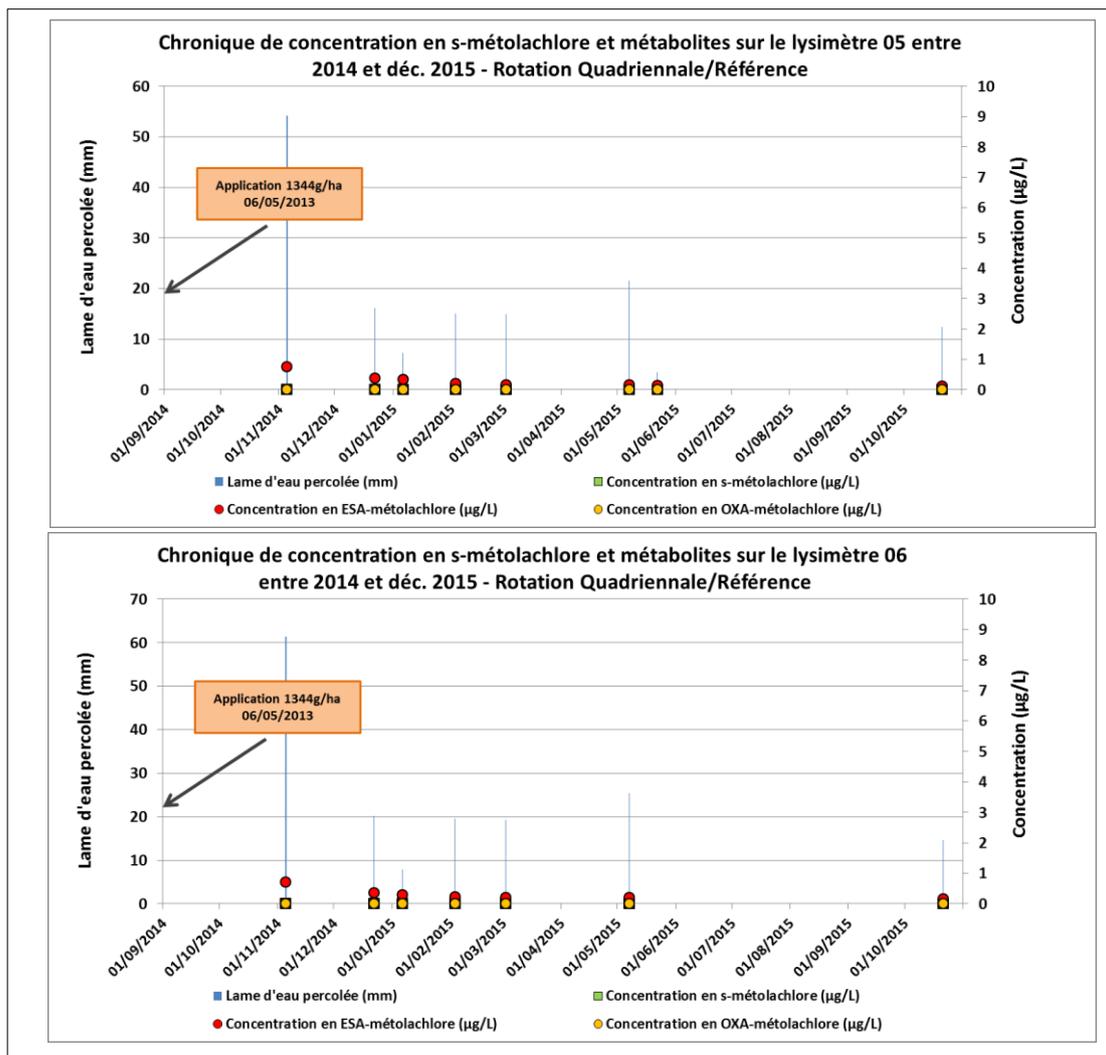
Lorsque l'on compare les deux lysimètres de la même parcelle (les lysimètres 11 et 12 étant tout deux sur la parcelle 3, modalité couvert intermédiaire) on observe une certaine variabilité des résultats. Bien que l'allure générale des points soit la même, les différences de concentration sur certains relevés sont assez importantes, c'est le cas notamment sur 05/11/2015 et du 06/01/2015. Globalement, l'essai aura montré qu'il existe une grande variabilité des transferts de produits phytopharmaceutiques, et ce même sur une parcelle et une modalité identique.

Figure 77 - Chronique de concentration en s-métolachlore et métabolites sur les lysimètres 11 et 12 entre 2014 et déc. 2015 - rotation quadriennale/couvert intermédiaire



Sur la Figure 78, on observe que les transferts peuvent être très longs. En effet, l'application sur les lysimètres 5 et 6 a eu lieu le 06/05/2013 et on retrouve encore les substances deux ans plus tard. Il s'agit principalement de l'ESA métolachlore, que l'on a vu être la substance la plus présente dans ces transferts. Les concentrations sont néanmoins d'un niveau beaucoup plus faible. Contrairement au glyphosate et à son métabolite, la molécule-mère n'est que très peu détectée et ce sont les métabolites qui persistent dans le milieu.

Figure 78 - Chronique de concentration en s-métolachlore et métabolites sur les lysimètres 05 et 06 entre 2014 et déc. 2015 - rotation quadriennale/référence



#### 4.9. Etude de dissipation de 3 molécules dans les sols de Lyon St Exupéry

En 2014 pour mieux comprendre les phénomènes en jeu et mieux appréhender le comportement des substances phytopharmaceutiques dans ce type de sol, une étude de dissipation de 3 molécules a été réalisée par l'équipe de Pierre Benoît (INRA Grignon UMR Ecosys).

Les objectifs étaient de décrire la dissipation de trois pesticides (époconazole, isoproturon et glyphosate) présentant des caractéristiques physicochimiques distinctes dans les sols de deux sites expérimentaux sur les transferts de pesticides d'ARVALIS – Institut du végétal.

Le choix de ces trois pesticides résulte des travaux sur le transfert des produits phytopharmaceutiques sur les sites de La Jaillière (Synthèse pluriannuelle 1993 – 2010, dispositif Pratiques Culturelles et Qualité des Eaux) et de Lyon-Saint-Exupéry, expérimentation en place depuis 2006. Dans ce présent document, seuls les résultats du site de Lyon St Exupéry sont résumés. Le mémoire de Manel Wazzani (INRA Grignon) qui contient les résultats détaillés est disponible avec le lien suivant : [WAZZANI, M. \(2014\). Dissipation de trois pesticides dans deux contextes pédologiques différents. \(Dissipation of three pesticides in two different soil environments\) \(Mémoire, PRES Sorbonne Paris Cité, FRA, Université Pierre et Marie Curie \(Paris 6\), FRA, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, FRA\).](http://prodinra.inra.fr/record/2699)

<http://prodinra.inra.fr/record/2699>

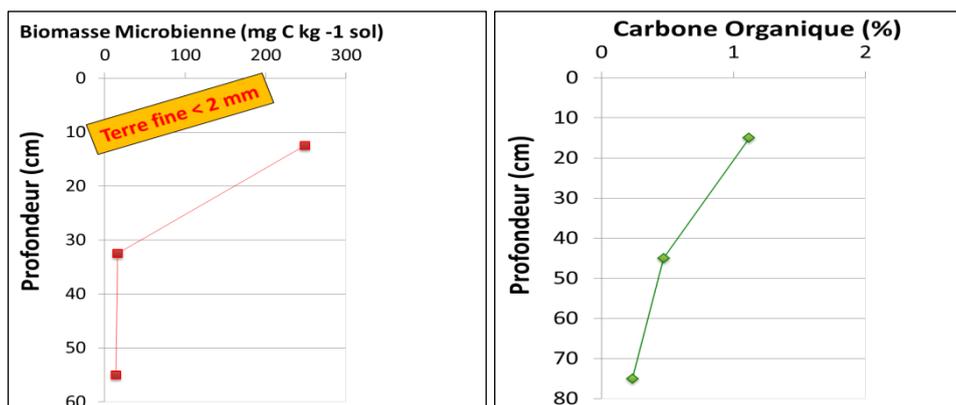
Des échantillons de sol ont été prélevés sur le site expérimental afin de mesurer l'adsorption et la dégradation des 3 molécules.

3 types de mesure ont été réalisés :

- Mesure de biomasse microbienne permettant de caractériser l'activité biologique des sols.
- Mesure d'adsorption des molécules.
- Mesure de dégradation des molécules.

- Mesure de biomasse microbienne

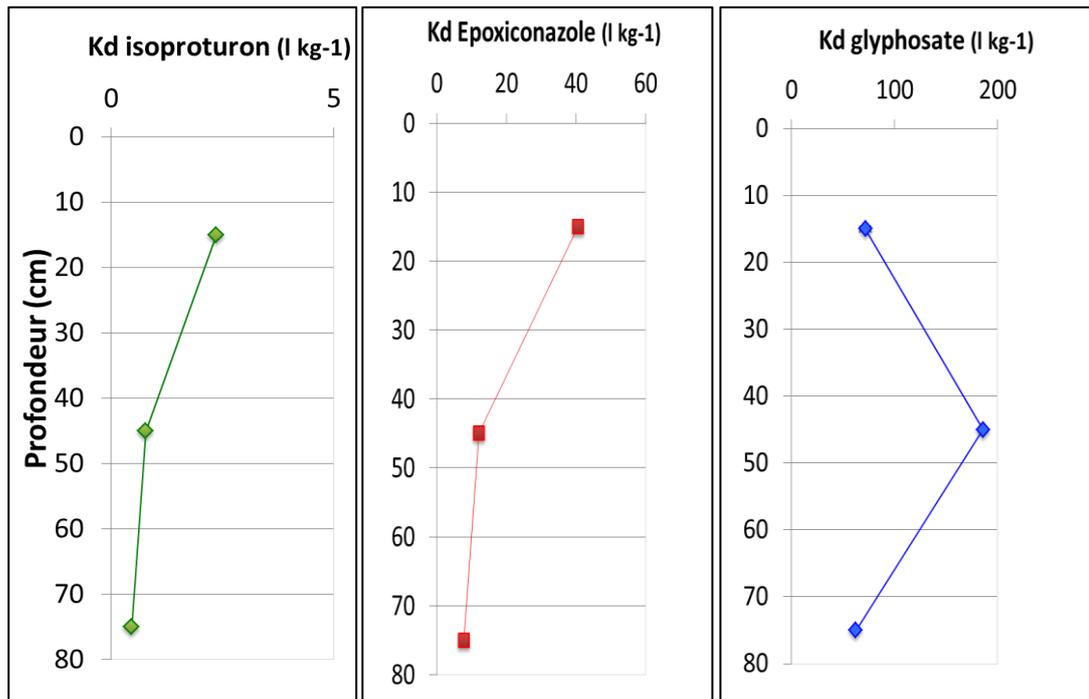
Figure 79 - Biomasse microbienne et teneur en Carbone organique



La quantité de biomasse microbienne est liée à la teneur en MO des différents horizons comme le montre les deux figures ci-dessus. Elle décroît très rapidement avec la profondeur, l'activité microbienne devenant très faible dans les horizons profonds.

- Mesure d'adsorption  
Les coefficients d'adsorption  $K_d$  (en L/kg) ont été déterminés pour chacune des 3 molécules sur les 3 horizons du sol de St Exupéry.

Figure 80 - coefficient d'adsorption des 3 molécules



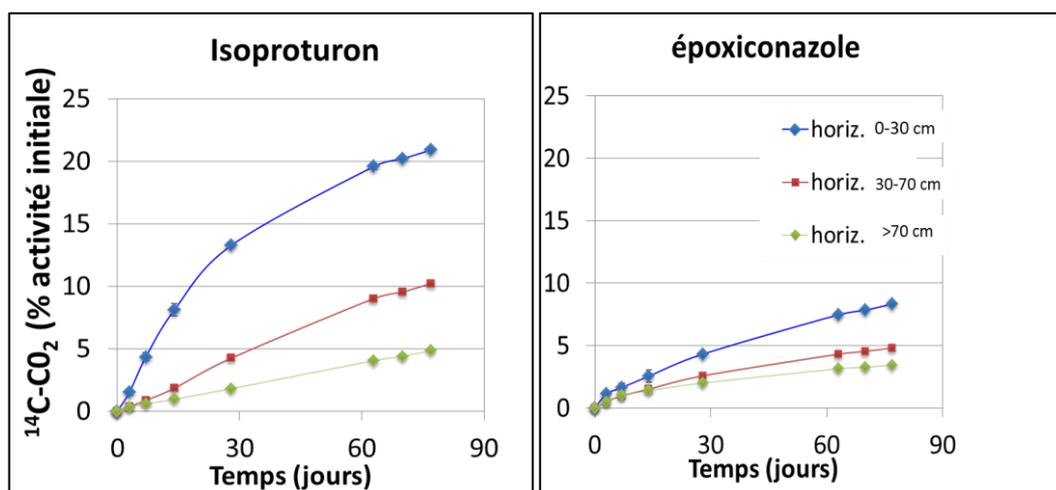
- L'adsorption de l'isoproturon est beaucoup plus faible que celle de l'époxiconazole et du glyphosate.
- Les valeurs de Kd les plus élevées de l'isoproturon et de l'époxiconazole sont observées au niveau des horizons de surface en lien avec la teneur en MO.
- Pour le glyphosate, le Kd le plus élevé est mesuré dans l'horizon intermédiaire 40-50 cm. Le Kd diminue dans la partie la plus carbonatée du profil en profondeur.

- Mesure de dégradation

Ces mesures n'ont pu être réalisées que sur deux molécules : l'isoproturon et l'époxiconazole.

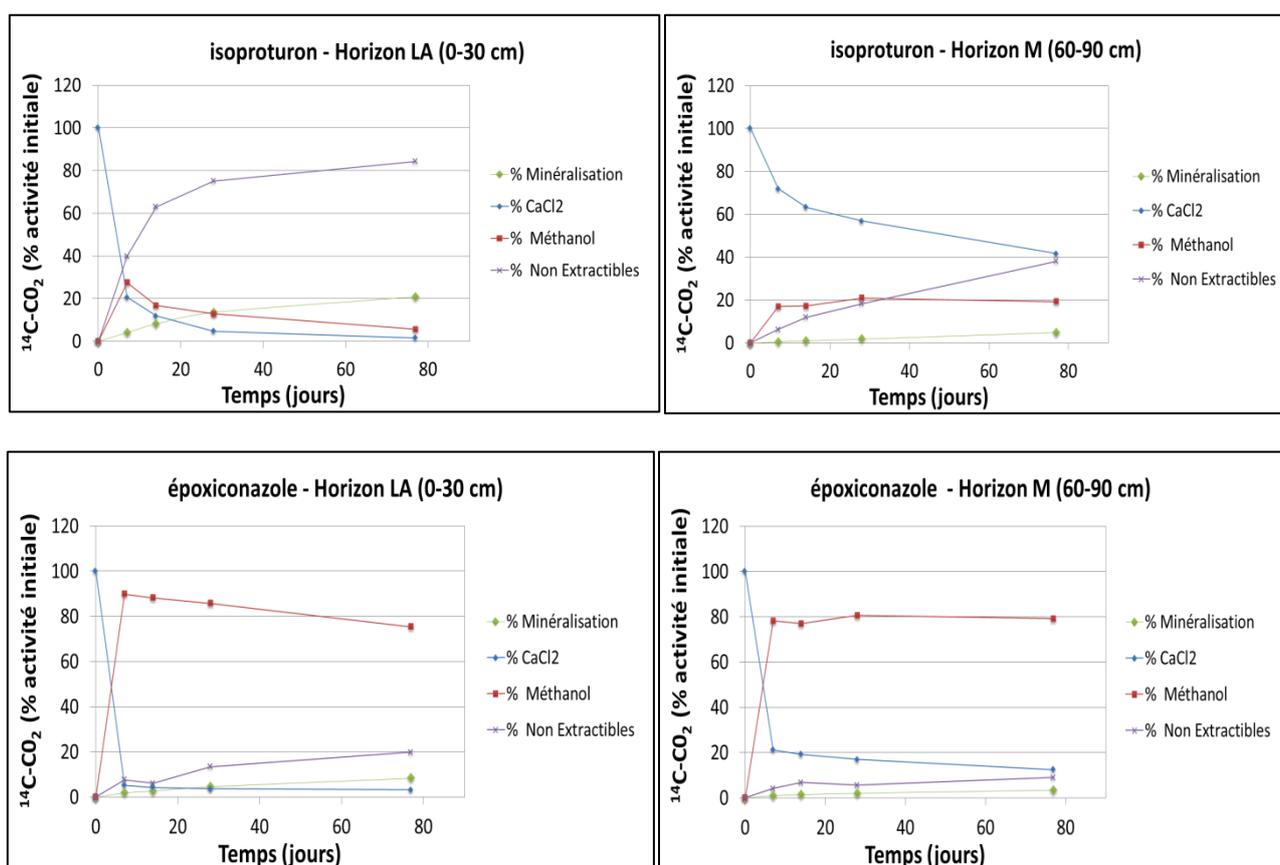
La dégradation des molécules est généralement représentée par la durée de demi-vie qui désigne la durée nécessaire à la disparition de la moitié de la quantité appliquée de pesticide. La dissipation du produit n'implique pas nécessairement sa minéralisation totale. La création de sous-produits peut être la voie majoritaire de dégradation. Pour caractériser l'évolution des molécules au cours du temps, l'étude a porté sur la répartition de la radioactivité dans les différents compartiments (minéralisé, extractible et non extractible).

Figure 81 - Minéralisation de l'isoproturon et de l'époxiconazole sur les 3 horizons



- La minéralisation de l'isoproturon est plus importante que celle de l'époxiconazole, 22% contre 9% sur le 1<sup>er</sup> horizon.
- Pour les deux molécules, la minéralisation diminue nettement avec la profondeur en lien avec la vie microbienne moins intense dans ces horizons-là.

Figure 82 - Disponibilité des résidus d'isoproturon et de l'époxiconazole sur l'horizon de surface et l'horizon profond



Pour évaluer l'extractibilité des résidus des pesticides, les échantillons subissent deux types d'extraction à température ambiante: une extraction au CaCl<sub>2</sub> visant à estimer la quantité des résidus facilement disponibles au moment du prélèvement, puis trois extractions successives au méthanol afin d'épuiser les résidus extractibles.

En ce qui concerne l'isoproturon, la minéralisation s'accompagne de la formation de résidus non extractibles en quantité assez importante, sans doute liés à la formation de métabolites.

Pour l'époxiconazole, la formation de résidus non extractible est faible en lien avec sa faible minéralisation. On observe que les résidus pour cette molécule sont persistants que ce soit dans l'horizon de surface ou l'horizon profond.

- Conclusion de cette étude

Les propriétés de rétention dépendent :

- des propriétés physico-chimiques des molécules.
- de la composante matières organiques du sol : diminution de l'adsorption pour époxiconazole et isoproturon avec la profondeur.
- de la composante minérale et du pH du sol : augmentation de l'adsorption du glyphosate dans l'horizon 30-60 cm et diminution dans l'horizon profond, le plus alcalin.

Les propriétés de dégradation dépendent :

- de la disponibilité des composés fonction de leur rétention
- la forte sorption de l'époxiconazole entraîne une faible dégradation
- la plus faible sorption de l'isoproturon explique sa dégradation mais la formation de résidus non extractibles est corrélée avec l'intensité de la dégradation
- de la distribution des activités microbiennes en lien avec le gradient de biomasse microbienne dans les profils elle-même dépendantes des teneurs en matières organiques et du pH.

#### *4.10. Enseignements de 8 années d'étude concernant les transferts de pesticides*

L'analyse des résultats acquis sur ces 8 campagnes d'études montre que les quantifications sont mesurées de façon sporadique et à des niveaux de concentration relativement bas si l'on compare à ce qui peut être trouvés sur les autres sites instrumentés par ARVALIS en France. Le taux de fréquence des quantifications est faible (1%) sur un peu plus de 60 000 recherches de molécules. En revanche, près des deux tiers des substances appliquées ont été détectées ou quantifiées au moins à une reprise.

Aucun lien entre les pratiques culturales mises en place sur le dispositif (Labour/Non labour, CIPAN, réduction des grammages...etc.) et les transferts de substances actives phytopharmaceutiques n'a pu être identifié.

L'infiltration de l'eau est très rapide dans les graviers profonds de Lyon Saint Exupéry ce qui en fait un milieu à risque élevé de transfert comme le suggère l'étude de traçage réalisée avec le bromure de sodium. Il paraît donc surprenant que les transferts de substances actives mesurées soient relativement faibles. D'autre part des phénomènes restent incompris comme le transfert de certaines SA plusieurs années après leur application. Certaines interrogations et hypothèses se font jour qu'il faut tester et évaluer :

- Quel rôle jouent les éléments grossiers du profil de sol ? Le pourcentage de cailloux en volume est élevé dans ce type de milieu : 32 % dans H1 (0-30 cm), 47 % en H2 et 62 % en H3. Une partie de ces cailloux, environ 10% du sol en place sur l'ensemble du profil, sont des grès décarbonatés poreux qui ont la faculté d'absorber de l'eau, jusqu'à 25 % de leur poids. Des études ont montré qu'ils participent pour 40 % à la constitution de la Réserve Utile du sol. Quelles interactions ont ces éléments avec les molécules

phytopharmaceutiques ? Adsorption à l'intérieur ou à la surface des grès, rétention de molécules dissoutes dans l'eau ? Des études complémentaires devront être réalisées pour mieux comprendre les phénomènes en jeu.

- On peut aussi s'interroger sur la dynamique de dégradation des molécules dans ce type de milieu. Là aussi des travaux d'études et d'expérimentation devront être entrepris pour en préciser les modalités. Une première approche avec l'étude de dissipation de 3 molécules sur des colonnes de sol extraites du dispositif réalisée par Pierre Benoit de l'INRA Grignon a montré que le comportement des SA phytopharmaceutiques pouvaient être très variables tant au niveau sorption/rétention qu'au niveau dégradation et que cela dépendait de leurs caractéristiques physico-chimiques propres, mais aussi des caractéristiques du profil de sol et de son évolution avec la profondeur : teneur en MO, pH, distribution de la vie microbienne. Ces travaux sont confortés par le suivi plus précis du métolachlore et de ses composés de dégradation réalisée en 2014/2015 postérieurement à l'expérimentation qui est ici l'objet de cette synthèse et qui montre que pour cette molécule les métabolites sont présents très rapidement dans ce type de sol (chapitre 4.8). En complément des analyses des différentes formes d'éléments métalliques dans le sol et des ions échangeables, des différents types d'argile et des différentes formes de matière organique ainsi que des dosages sur la matrice eau (dosage des ions présents dans l'eau libre du sol) pourraient aider à mieux cerner et comprendre les phénomènes en jeu.

#### *4.11. Quels conseils peut-on faire suite aux 8 années d'étude sur le transfert de produits phytosanitaires ?*

L'essai montre tout d'abord qu'il n'existe **pas de liens clairs entre les pratiques culturales** (Labour/Non labour, présence de CIPAN, monoculture/rotation, etc...) **et les transferts de substances actives phytosanitaires**. Il existe une grande variabilité des résultats entre les lysimètres, ce qui rend la comparaison des systèmes très difficile. Il paraît délicat de mettre en avant certaines pratiques culturales plutôt que d'autres dans le but de limiter les transferts de SA phytosanitaires.

Quelques règles peuvent cependant être appliquées :

- Un premier levier pour limiter les flux est **d'éviter tout traitement pendant la période de saturation** ou période de drainage (fin octobre à début mars). Il est préférable de traiter avant ou après cette période. En effet, un traitement effectué juste avant une forte pluie peut entraîner de très fortes concentrations de produit dans les percolats et ainsi avoir un impact environnemental plus important. Sur le site de St Exupéry il faut aussi prendre en considération les applications du début de printemps, notamment sur maïs et tournesol qui peuvent être sujettes à transfert en cas d'épisodes pluvieux parfois intenses en cette période de l'année. Dans la mesure où cela ne constitue pas une impasse agronomique, le choix peut se porter sur des produits qui peuvent s'appliquer en dehors de ces périodes à risque. Par exemple sur maïs éviter d'appliquer un herbicide racinaire si le problème graminée adventice ne se pose pas avec acuité, ou sur blé ne pas appliquer d'herbicide pendant l'hiver pour réserver la lutte contre les adventices avec des produits applicables au printemps.
- Quand les conditions le permettent, la **réduction des doses** peut être un levier efficace pour limiter les transferts. La réduction des doses a d'autant plus d'impact que lorsqu'elle est effectuée avant la période de saturation, et qu'aucune pluie ne survient après l'application.

La mise en œuvre de la technique du désherbinage, désherbage sur le rang et binage de l'inter-rang, sur les cultures qui le permettent peut être un moyen de réduire les doses appliquées.

- L'utilisation de **produits phytosanitaires moins mobiles et avec des concentrations à faible grammage** va lui aussi permettre de limiter les transferts. Pour cela, il s'agit de limiter au maximum l'usage de produits très mobiles, comme la bentazone par exemple qui se retrouve très vite dans les eaux de percolation. Ces pratiques vont permettre de limiter leur impact sur l'environnement.
- **Diversifier le choix** des molécules et des familles de produits phytosanitaires permettra de réduire la pression d'un même type molécules sur le milieu et par conséquence de limiter les transferts.

## **5. Conclusion générale : 8 ans d'expérimentation de suivi de transfert de nitrate et de substances phytopharmaceutiques en sols filtrants de la plaine de Lyon.**

Le dispositif expérimental a été mis en place au cours de l'année 2005 avec l'installation des cases lysimétriques. Il est opérationnel depuis la campagne 2006/2007. Il fonctionne bien, les cases lysimétriques enregistrent des données de lame d'eau qui sont cohérentes, hormis 2 d'entre elles qui ont rapidement été identifiées et dont il faut expertiser les résultats de lame d'eau avant leur utilisation (case 20 et case 26).

Cela a permis de caractériser l'hydrologie du site. L'infiltration y est très rapide lorsque le sol est rechargé en eau et est revenu à la capacité au champ. Généralement moins de 24 heures s'écoulent entre le début d'une pluie significative et les premiers écoulements dans les lysimètres

- La percolation de l'eau vers les nappes souterraines a lieu principalement en période d'excédent pluviométrique, en automne-hiver. La période de drainage hivernal débute vers la mi-novembre pour se terminer vers la mi-mars.

- Sur les cultures de printemps (maïs, tournesol, soja...) les épisodes de drainage au printemps ne sont pas rares et sont à prendre en compte au moment des apports d'engrais et de produits phytopharmaceutiques.

- Les écoulements d'été sont nuls à modérés, l'irrigation est bien valorisée par les cultures. Quelques percolats sont mesurés quand les volumes pluie + irrigation deviennent importants, lors d'un orage par exemple.

- Les lames d'eau moyennes qui filtrent vers la nappe varient en fonction des années en lien avec la pluviosité annuelle. Elles s'étalent de 250 à presque 600 mm et représentent entre 33 et 39% des quantités de pluie + irrigation.

- L'expérimentation montre que la présence d'une culture intermédiaire piège à nitrate (CIPAN) réduit les flux de drainage. Entre une rotation qui intègre une culture intermédiaire et une autre avec un sol nu, un différentiel de 310 mm a été enregistré concernant le cumul de flux d'eau au cours des huit campagnes passées soit 38 mm/an. Les inter-cultures estivales (blé/soja, blé/tournesol ou féverole/blé) ont plus d'effet sur les flux de drainage car elles laissent la possibilité à la CIPAN de bien se développer, donc de consommer plus d'eau. Au final il faut retenir un écart de 11% de flux de drainage entre sol nu et CIPAN.

- Le couvert permanent qui consomme de l'eau tout au long de l'année diminue beaucoup plus les niveaux de percolats à raison de 45 % par rapport au sol nu.

**En ce qui concerne les suivis de transferts d'azote**, les résultats observés valident les hypothèses bâties a priori.

Pour la rotation quadriennale :

- Les couverts intermédiaires bien qu'ayant une croissance assez faible dans ce type de milieu ont un effet significatif sur la teneur en nitrate des eaux de percolation (-37%) ainsi que sur les transferts d'azote (-44%). Le lien entre azote absorbé par les couverts et azote soustrait au lessivage est bon.

- L'effet fertilisation des couverts est difficile à démontrer avec cet essai sans répétition. Les couverts en mélanges avec légumineuses semblent un bon compromis dans ce type de sol entre limitation de la lixiviation et fournitures d'azote à la culture suivante.

Pour la monoculture de maïs

- Les différentes conduites étudiées ont un effet sur la teneur en nitrate dans l'eau et sur la quantité d'azote lixiviée. Les transferts d'azote des conduites Référence et Non Labour sont généralement supérieurs à ceux des conduites Eco-Coupure Monoculture et Faible Pression d'Intrants, ce qui répond à la logique du choix initial d'apporter respectivement 80% de la dose Référence pour la modalité Eco-Coupure Monoculture et 60% (puis 80% dans un deuxième temps) de la dose Référence pour la modalité Faible Pression d'Intrants.

- Les conduites se différencient pendant la période de l'interculture mais aussi pendant la période sous culture.

- Les pertes sous cultures sont la plupart du temps liées à un phénomène météorologique ponctuel (pluie d'orage après un apport d'engrais par exemple)

- Les défauts d'utilisation des engrais (CAU) sont relativement élevés et sont liés en tendance aux pertes par lixiviation mais ces pertes sont de faibles ampleurs par rapport à d'autres types de pertes comme l'hypothèse de la volatilisation.

- L'optimisation des pratiques de fertilisation azotée et l'évolution des paramètres de calcul de la dose d'azote au fil des années permettent à toutes les modalités de présenter de faibles transferts d'azote dans les eaux.

**En ce qui concerne les suivis de transfert de substances phytopharmaceutiques** les réponses ne sont pas aussi claires. Bien que le milieu étudié soit très filtrant, peu de molécules sont quantifiées dans les eaux de percolation, autour de 1% en fréquence. Compte tenu de ce faible taux de quantification, il est impossible de tirer des liens entre les pratiques culturales (date d'application, dose d'utilisation, choix de substance active etc...) et les transferts de substances phytopharmaceutiques.

L'étude de dissipation de 3 molécules réalisée par Pierre Benoît de l'INRA Grignon montre que le comportement des molécules peut être très différent selon leurs propriétés physico-chimiques. Certaines peuvent être dégradées très rapidement (isoproturon), ce qui s'accompagne de l'apparition de sous-produits (métabolite) alors que d'autres semblent adsorbés très fortement dans le profil (glyphosate) avec des phénomènes d'adsorption/désorption longtemps après l'application.

Il reste beaucoup à comprendre pour le transfert de SA, notamment le rôle joué par les différents compartiments du sol : biomasse microbienne, éléments grossiers (grès poreux), terre fine, caractéristiques physico-chimiques des différents horizons de sol, charges en ions métalliques etc... qui pourraient aider à mieux cerner les risques de transferts des SA dans les eaux souterraines.

Comme pour toutes les situations la maîtrise des risques de pollution diffuse par les produits phytosanitaires dans ce type de sols passe donc par un diagnostic préalable permettant de proposer des solutions adaptées. Les leviers à mettre en œuvre sont diversifiés et spécifiques à chaque situation :

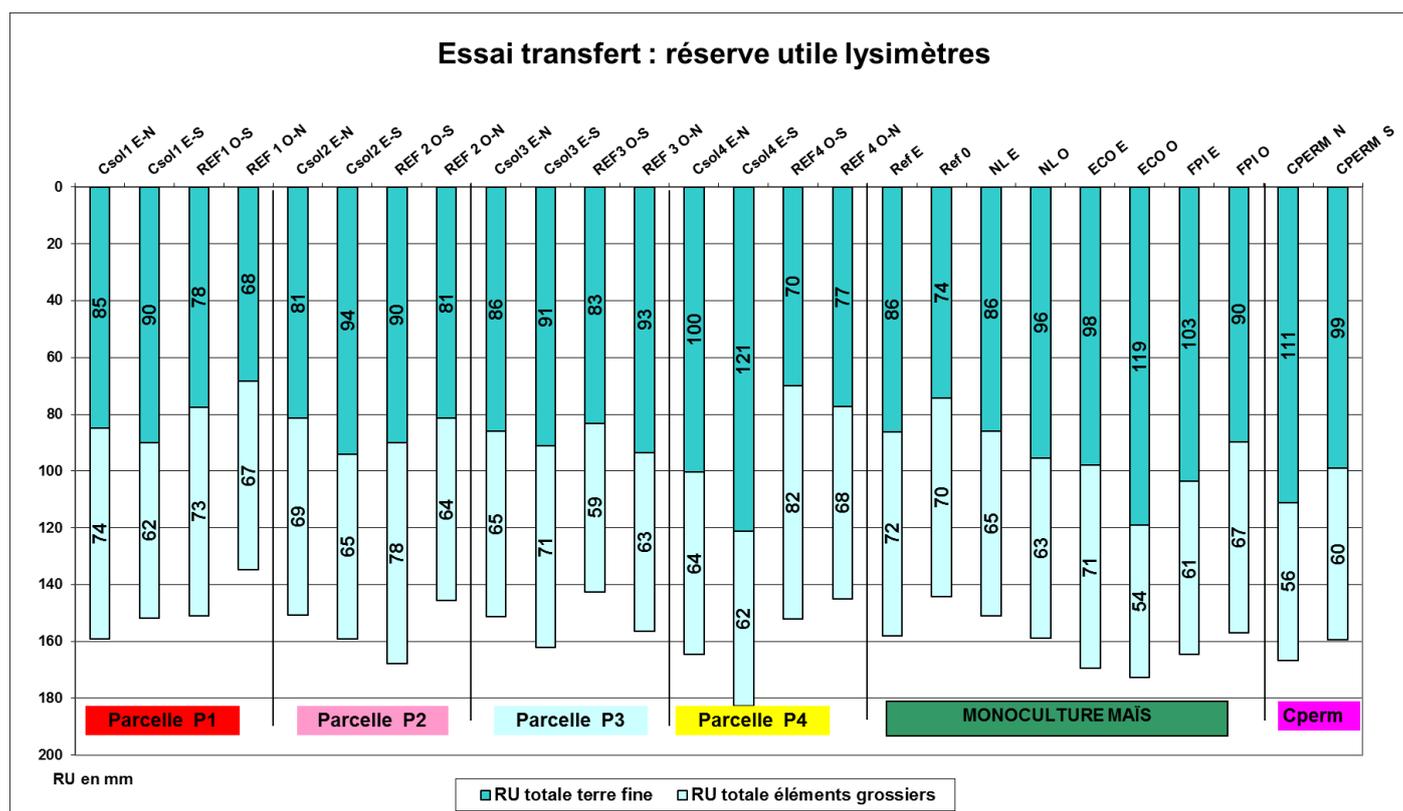
- déterminer le cheminement et la destination de l'eau hors des parcelles,
- repérer les périodes d'écoulement et les périodes d'application des produits,

- identifier la nature des substances actives appliquées, leurs caractéristiques physico-chimiques et leur période d'application,

Tous ces éléments sont des étapes indispensables pour une optimisation de l'utilisation des produits phytosanitaires en limitant leur impact sur le milieu.

# **ANNEXES**

## Annexe 1 : Détail des Réserves Utiles de chaque lysimètre de l'essai



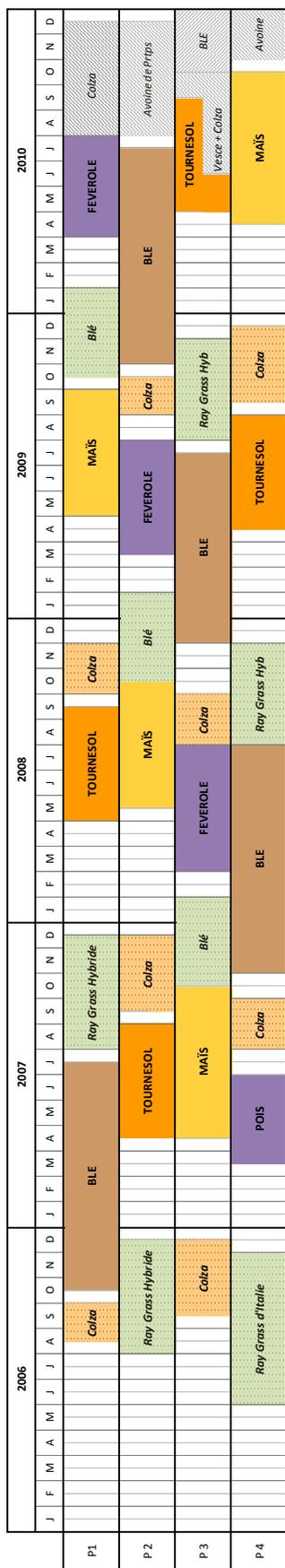
## Annexe 2 : Données pluviométriques mensuelles (en mm) de l'ensemble de l'essai

	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	sept	TOTAL
2006-2007	61.8	103	77.2	50.0	49.8	37.6	14	188.4	108	87	89.2	64.4	930.4
2007-2008	18.8	76	35.4	59.2	23	63.4	137.6	62.8	44	130.4	63.8	161.6	876
2008-2009	89.8	45.2	38	38.4	117	33.4	33.8	38.2	61.4	49	24	42.8	611
2009-2010	85	95.1	71.4	58.6	75.6	64.5	33.9	129.5	81	39.4	36.4	92.3	862.7
2010-2011	68.5	87.3	39.2	41.1	43.8	61.5	8.7	35.1	84.7	132.6	95.5	30.2	728.2
2011-2012	78.6	50	124.7	53.9	6.6	41.3	121.3	58.1	115.4	101.1	70.5	135.2	956.7
2012-2013	55.3	151	52.2	58.9	41.6	86.1	94.9	202.2	53.1	52.7	60.1	91.5	999.6
2013-2014	76.1	113.7	103.4	120.3	120.5	25.2	54.1	78.6	30.2	179.5	68.8	34.5	1004.9

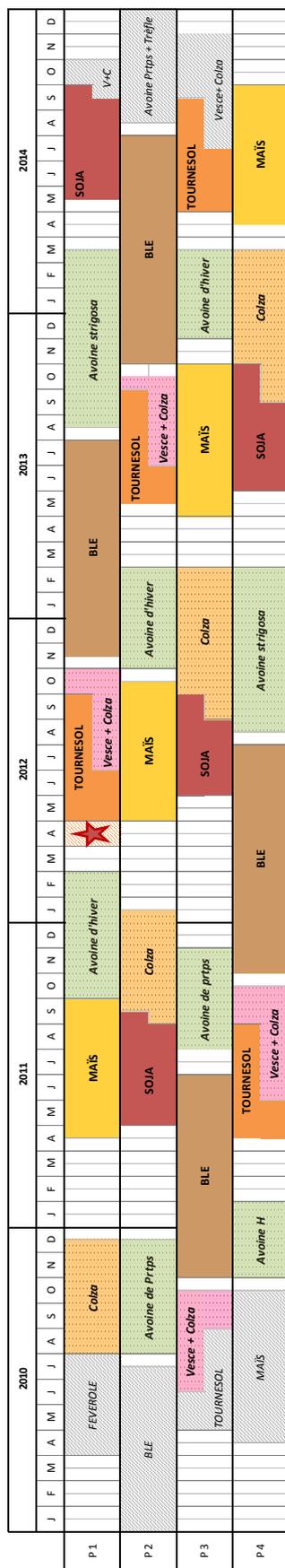
# Annexe 3 : Calendrier des successions culturales selon chaque parcelle et modalités de l'essai

## CALENDRIERS DES DEUX ROTATIONS CIPAN (date Levée - date Récolte)

ROTATION 1



ROTATION 2



**LEGENDE**

- Cultures principales
- Couverts Intermédiaires
- Suite a des oegats a oiseaux et de lapins, un zeme semis a ete réalisé
- SoI Nu

Règles de construction :

Calendrier bâti sur la base des dates de semis et de récolte de chaque culture et CI.  
 Pour des fins de périodes comprises entre le 1 et le 5 du mois, les blocs s'arrêtent au mois précédent.  
 Pour des fins de périodes supérieures au 16 du mois, les blocs s'arrêtent à la deuxième moitié du mois.  
 Pour des débuts de périodes compris entre le 26 et le 31, les blocs démarrent au mois suivant.

## CALENDRIER DES MONOCULTURES DE MAÏS (date Levée - date Récolte)

	2007												2008												2009												2010											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ref																																																
NL																																																
Eco																																																
FPI																																																

	2011												2012												2013												2014											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ref																																																
NL																																																
CM (ex Eco)																																																
FPI																																																

**LEGENDE**

 Cultures principales

 Couverts intermédiaires

 La modalité "Eco" est modifiée afin de prendre en compte la législation "chrysomèle" qui impose une coupure de cette monoculture 1 année sur 6

 Sol Nu

Règles de construction :

Calendrier bâti sur la base des dates de semis et de récolte de chaque culture et Cl.

Pour des fins de périodes comprises entre le 1 et le 5 du mois, les blocs s'arrêtent au mois précédent.

Pour des fins de périodes supérieures au 16 du mois, les blocs s'arrêtent à la deuxième moitié du mois.

Pour des débuts de périodes compris entre le 26 et le 31, les blocs démarrent au mois suivant.

## Annexe 4 : Tableaux récapitulatif des analyses de biomasses des CIPAN au cours des 2 rotations

### Rotation 1

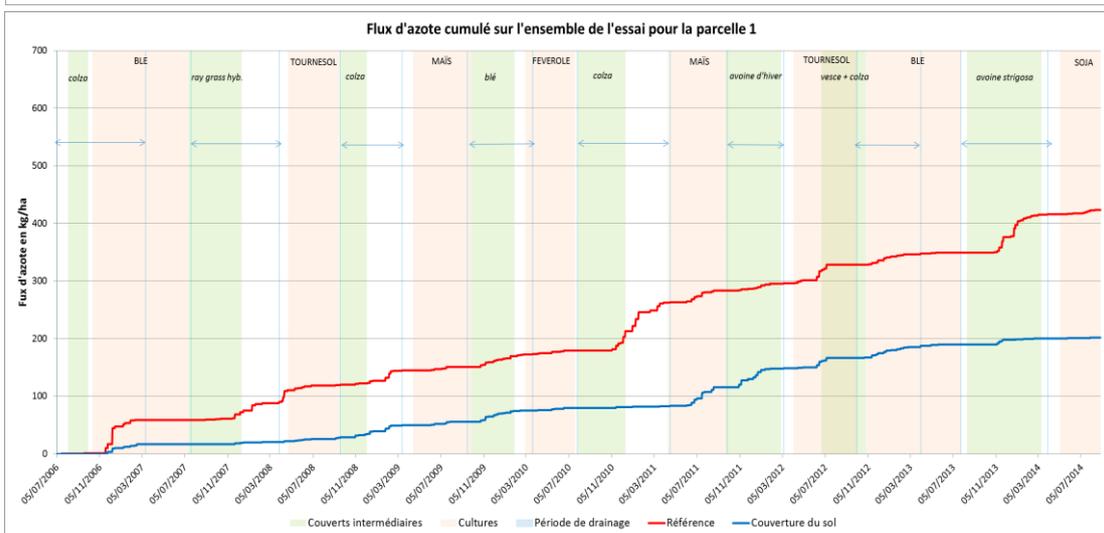
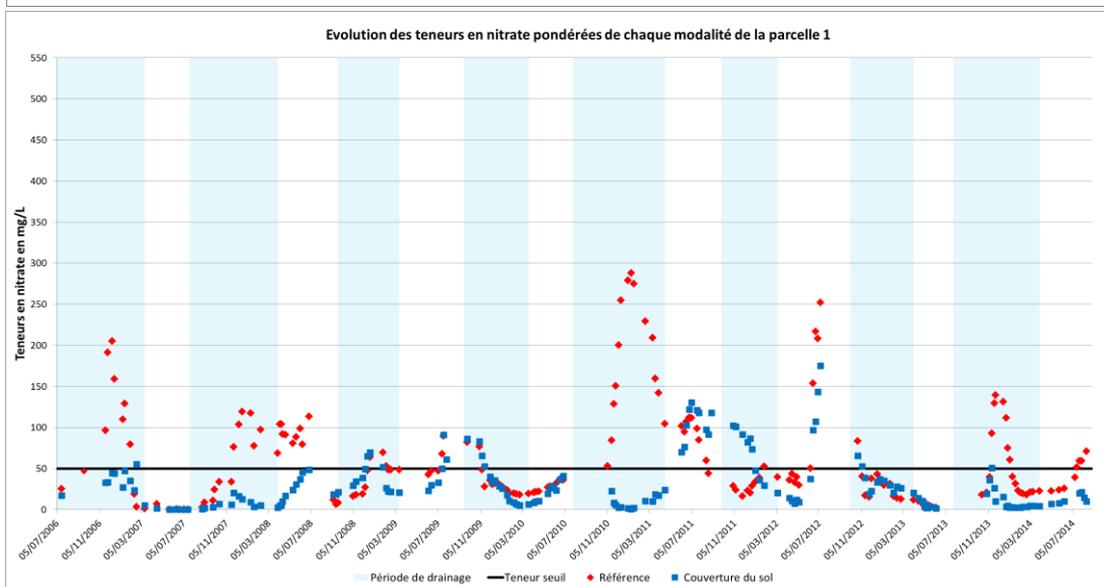
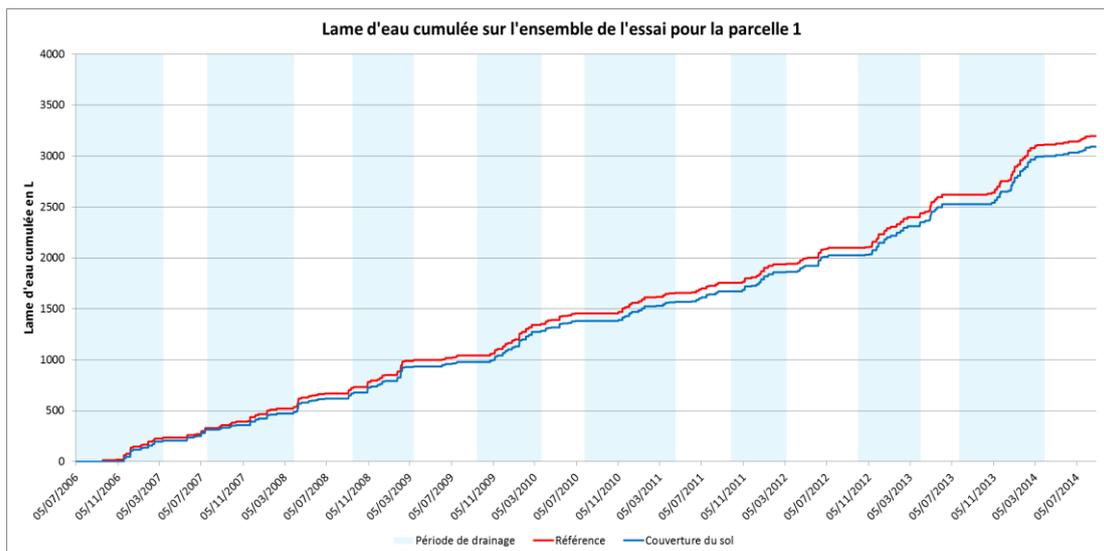
Parcelle	Campagne	Type de CIPAN	Date semis	Date destruction	Durée d'implantation (en j)	Biomasse CIPAN			TOTAL N kg/ha (CIPAN + repousses)
						MS tonne/ha	% Azote	Azote kg/ha	
P1	2006/2007	Colza (var. Grizzly)	07/08/06	02/10/06	55	2.1	2.08	43.68	43.68
	2007/2008	RGH (var. Barsilo)	16/07/07	14/12/07	148	1.82	1.4	25.03	25.03
	2008/2009	Colza (var. Aviso)	19/09/08	05/12/08	76	0.27	2.78	7.51	7.51
	2009/2010	Blé (var. Caphorn)	30/09/09	29/01/10	119	0.2	2.91	5.82	5.82
P2	2006/2007	RGH (var. Modélo)	24/07/06	11/12/06	137	2.69	1.77	47.61	47.61
	2007/2008	Colza (var. Grizzly)	04/09/07	14/12/07	100	0.88	2.65	23.32	23.32
	2008/2009	Blé (var. Caphorn)	09/10/08	31/01/09	111	0.25	2.87	7.18	7.18
	2009/2010	Colza (var. Vision) et repousses féverole	23/07/09 -	15/10/09 15/10/09	82 -	1.46 0.8	3.34 3.38	48.76 27.04	75.8
P3	2006/2007	Colza (var. Grizzly) et repousses tournesol	07/09/06 -	15/12/06 15/12/06	98 -	0.67 0.37	3.15 3.02	21.05 11.06	32.11
	2007/2008	Blé (var. Caphorn)	08/10/07	31/01/08	112	0.21	3.04	6.4	6.4
	2008/2009	Colza (var. Aviso) et repousses féverole	04/08/08 -	04/10/08 04/10/08	60 -	0.99 0.63	2.16 3.91	21.38 24.63	46.01
	2009/2010	RGH (var. Mondello)	23/07/09	02/12/09	129	1.41	1.76	24.82	24.82
P4	2006/2007	RGI (var. Jericho)	06/06/06	30/11/06	174	0	0	0	0
	2007/2008	Colza (var. Grizzly)	16/07/07	02/10/07	76	2.15	2.07	44.51	44.51
	2008/2009	RGH (var. Barsilo)	30/07/08	28/11/08	118	2.77	1.35	37.4	37.4
	2009/2010	Colza (var. Vision)	07/09/09	11/12/09	94	0.5	2.91	14.55	14.55

### Rotation 2

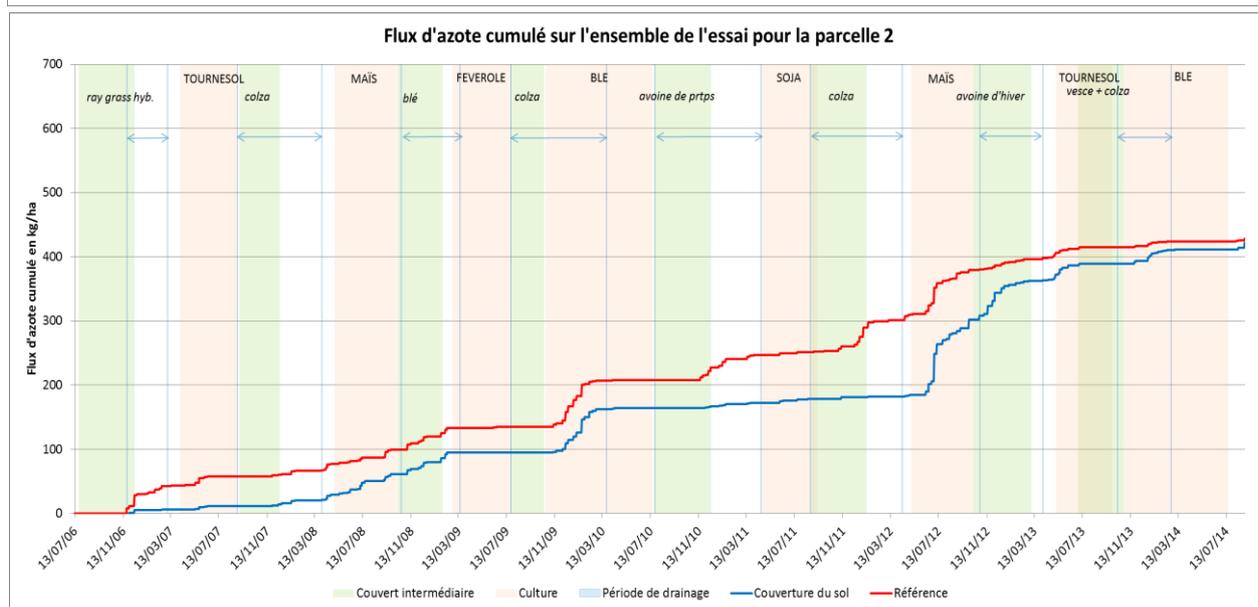
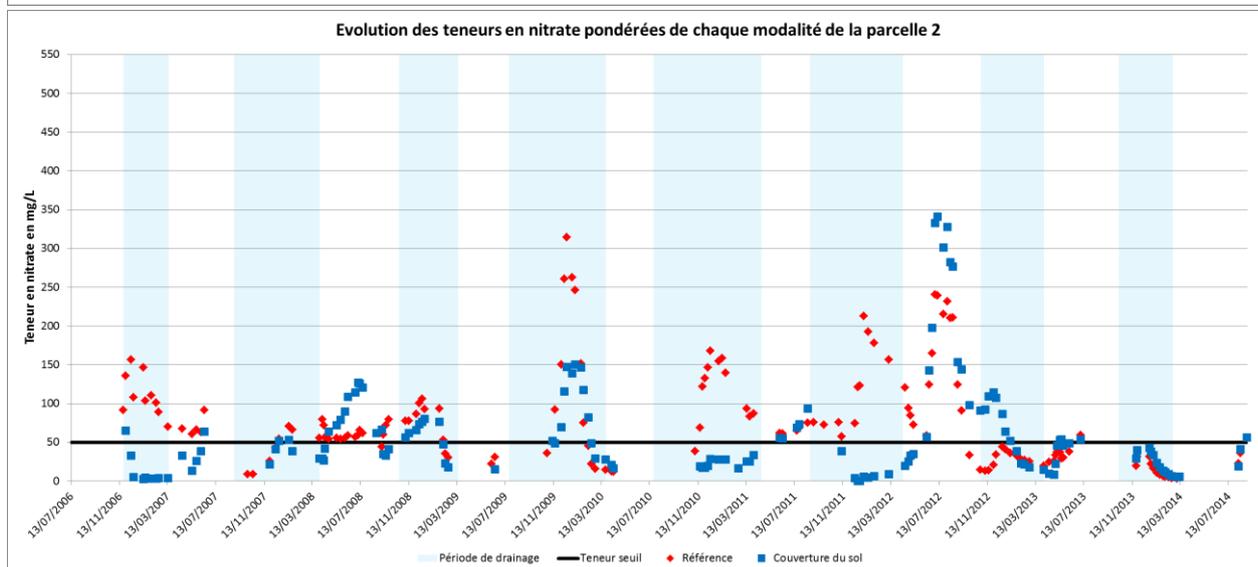
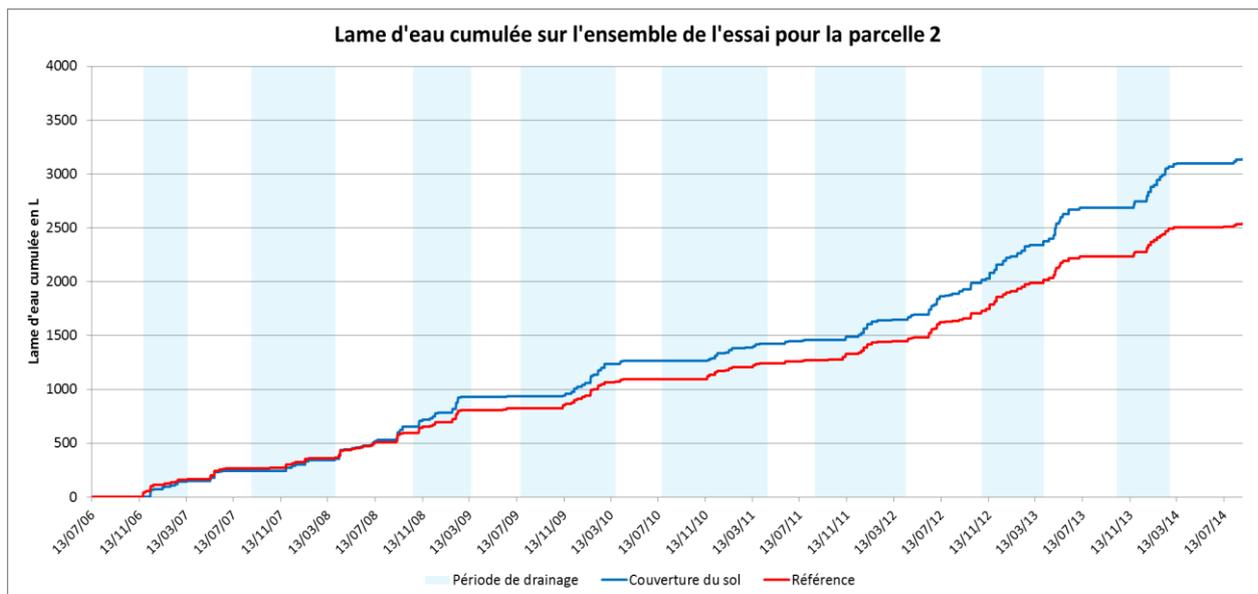
Parcelle	Campagne	Type de CIPAN	Date semis	Date destruction	Durée d'implantation (en j)	Biomasse CIPAN			N kg/ha total (mélange ou CIPAN + repousses)
						MS tonne/ha	% Azote	Azote kg/ha	
P1	2010/2011	Colza sem. de ferme et repousses féverole	30/07/10 -	13/12/10 13/12/10	133 -	1.50 0.30	2.24 3.41	33.60 10.23	43.83
	2011/2012	Avoine d'hiver (var. Une de mai)	28/09/11	29/02/12	151	1.09	1.71	18.64	18.64
	2012/2013	Vesce pourpre (var. Bingo) Colza sem. de ferme (var. Vision)	25/06/12	29/10/12	124	0.94 0.58	3.44 3.03	32.34 17.57	49.91
	2013/2014	Avoine (var. Strigosa)	14/08/13	12/03/14	208	1.37	1.83	25.07	25.07
	2014/2015	Colza et repousses soja	04/09/14 -	23/10/14 23/10/2014	49 -	0.04 0.08	4.55 7.96	1.82 6.37	8.19
P2	2010/2011	Avoine de Prtps (var. Izak)	23/07/10	13/12/10	140	2.12	1.42	30.10	30.10
	2011/2012	Colza (var. Exocet)	24/08/11	12/01/12	138	2.27	2.75	62.43	62.43
	2012/2013	Avoine hiver (var. Une de mai)	11/10/12	04/03/13	143	0.29	2.71	7.86	7.86
	2013/2014	Vesce (var. Topaze) Colza (var. Exocet)	02/07/13	24/10/13	112	0.24 0.15	3.82 2.96	9.17 4.44	13.61
	2014/2015	Avoine P Trèfle	14/08/14	18/03/15	214	1.02 0.45	1.9 2.69	19.38 12.11	31.49
P3	2010/2011	Vesce pourpre (var. Bingo) Colza sem. de ferme (var. Vision)	11/06/10	15/10/10	124	0.41 0.28	3.85 3.23	15.63 9.17	24.80
	2011/2012	Avoine de Prtps (var. Béline 2)	27/07/11	28/11/11	121	2.38	2.12	50.46	50.46
	2012/2013	Colza sem. de ferme	24/08/12	04/03/13	190	0.54	3.85	20.79	20.79
	2013/2014	Avoine hiver (var. Une de mai)	14/11/13	12/03/14	118	0.04	3.64	1.46	1.46
	2014/2015	Vesce Colza	19/06/14	04/12/14	165	0.02 0.19	3.53 2.99	0.71 14.65	15.36
P4	2010/2011	Avoine hiver (var. Une de mai)	14/10/10	26/01/11	102	0.25	2.83	6.92	6.92
	2011/2012	Vesce pourpre (var. Bingo) Colza sem. de ferme (var. Vision)	24/05/11	20/10/11	146	1.63 0.40	3.85 3.17	62.76 12.68	75.44
	2012/2013	Avoine (var. Strigosa)	09/08/12	04/03/13	205	1.80	1.97	35.12	35.12
	2013/2014	Colza sem. de ferme	06/09/13	12/03/14	186	0.47	4.05	19.04	19.04

# Annexe 5 : Détails des résultats de la rotation quadriennale par parcelle

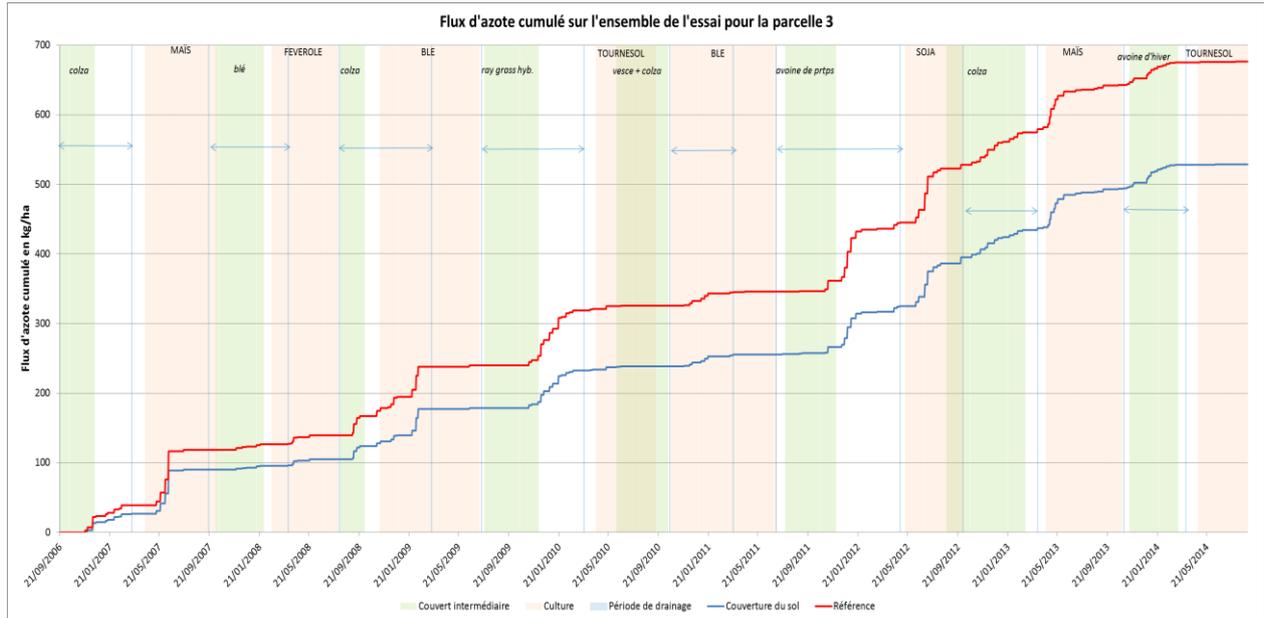
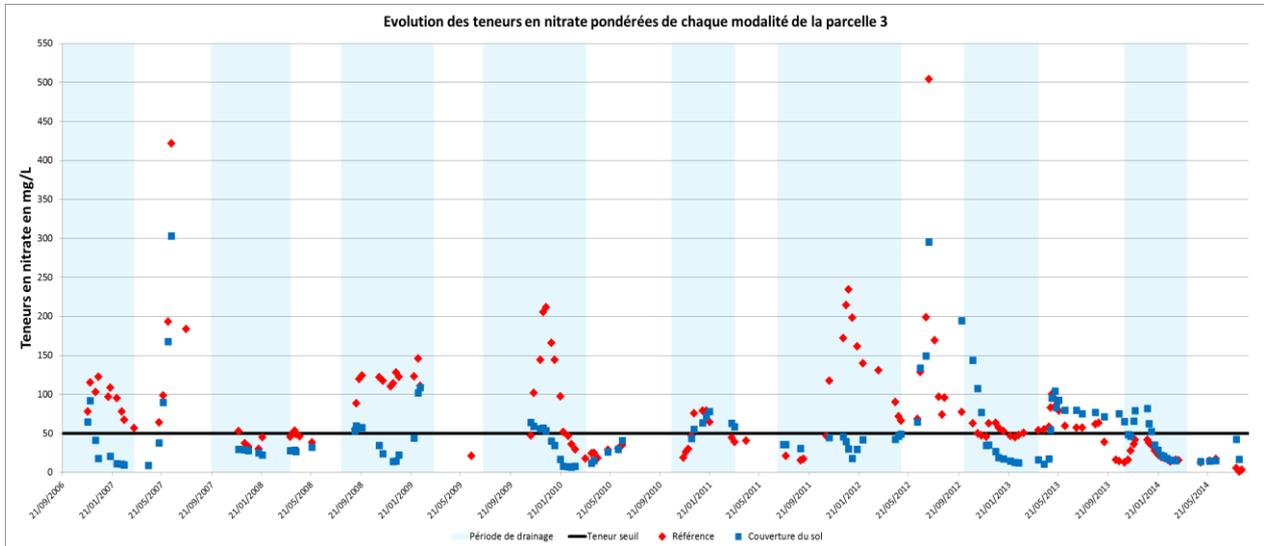
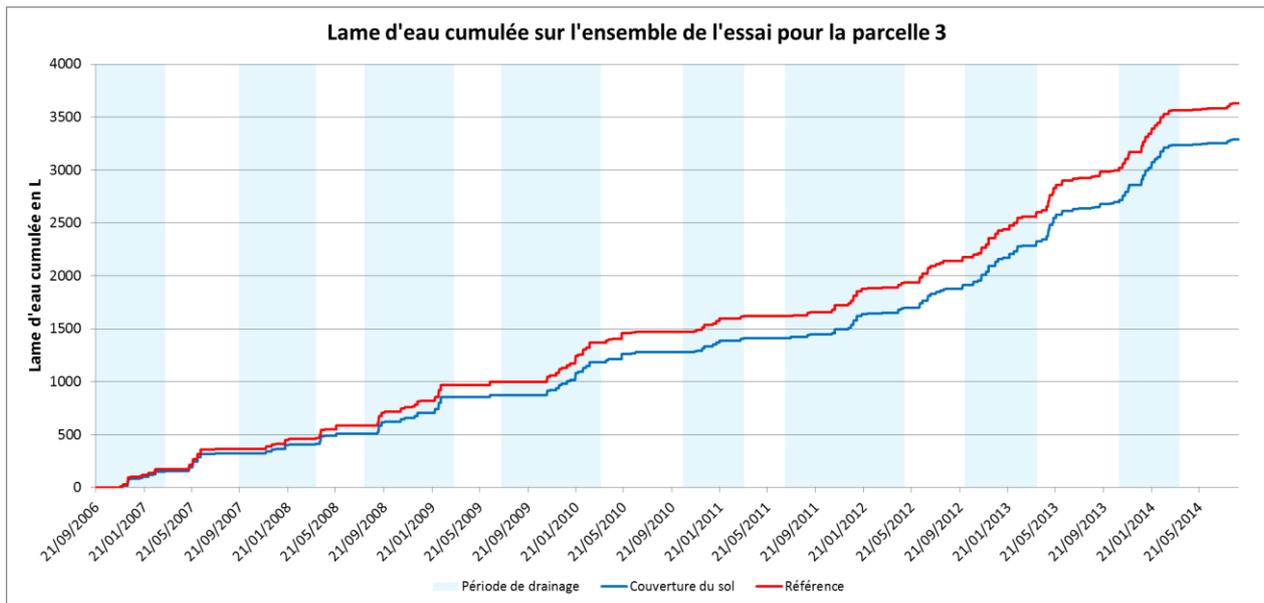
## Parcelle 1



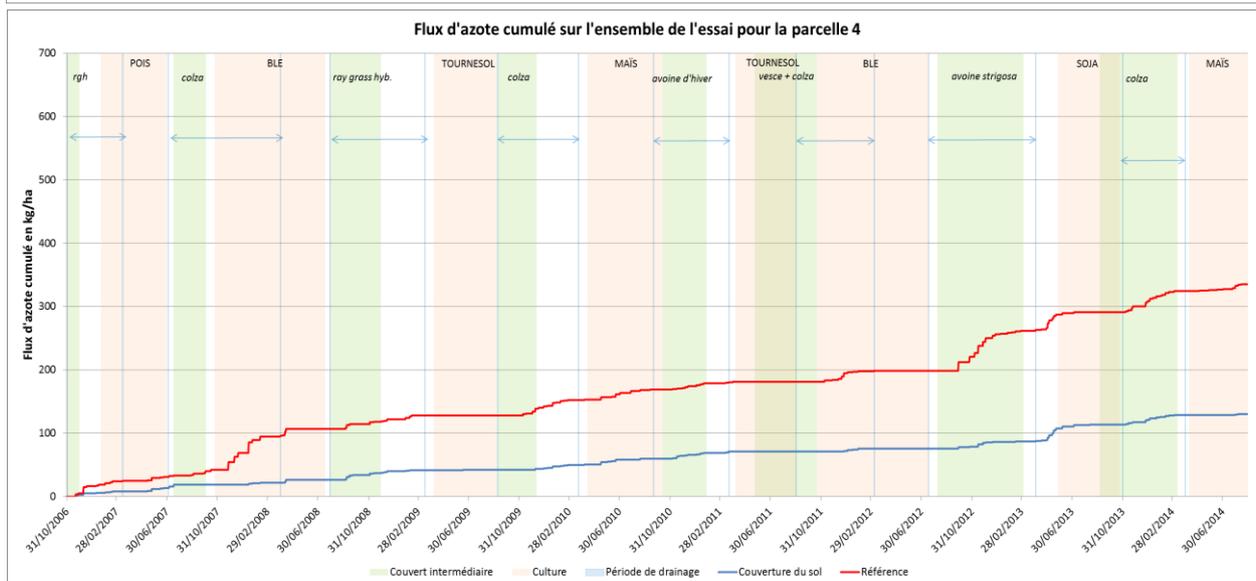
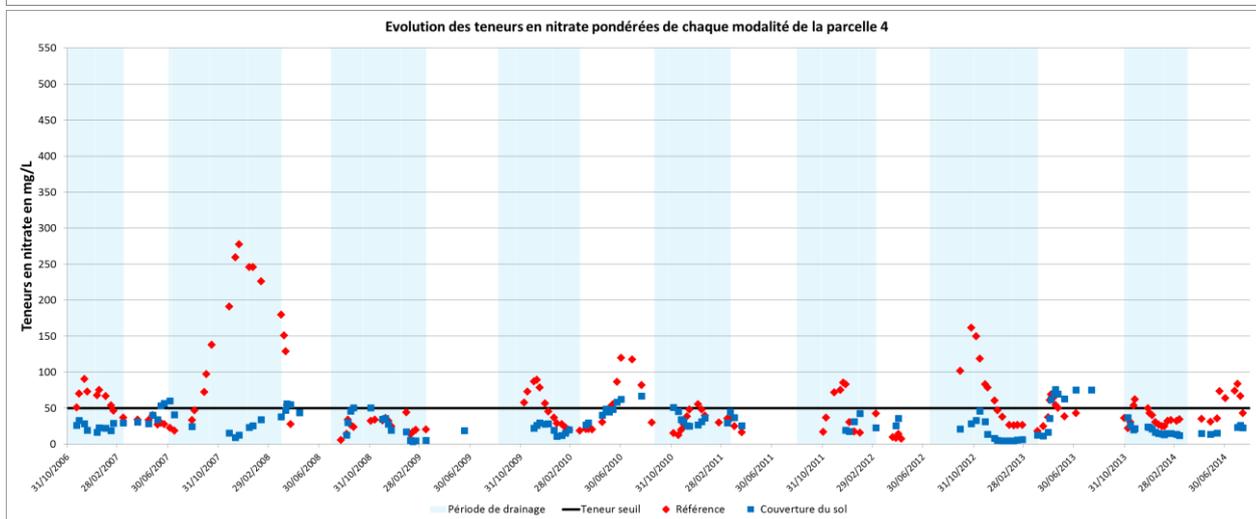
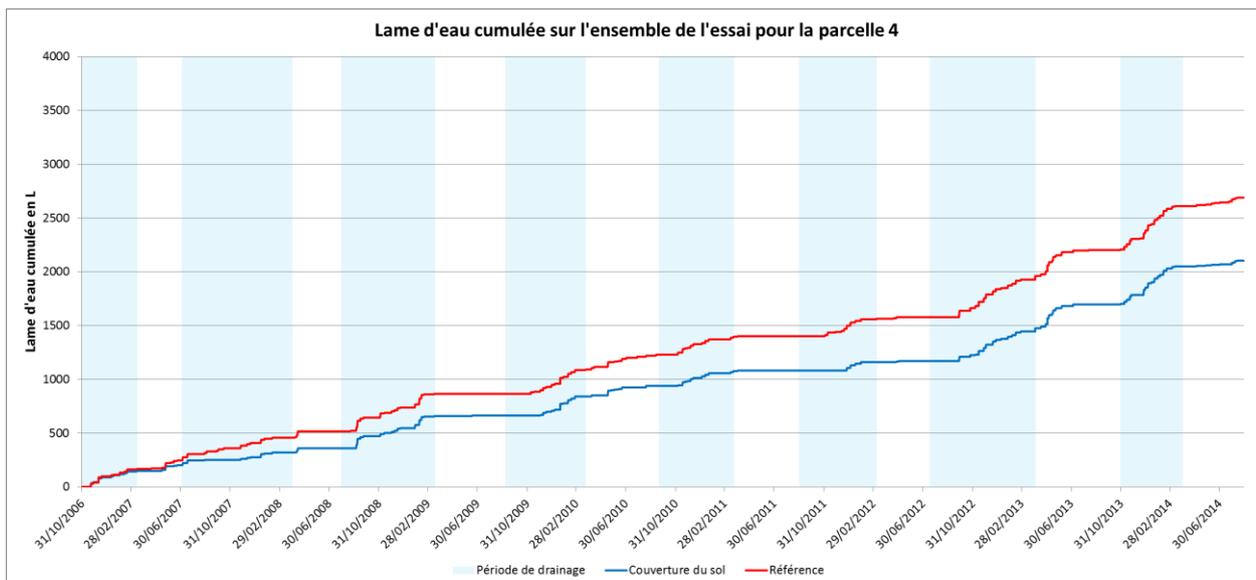
## Parcelle 2



# Parcelle 3



# Parcelle 4



## Annexe 6 : Détails des doses d'azote apportées sur chaque parcelle de l'essai

### Rotation quadriennale

	Culture	Campagne	Modalité	Dose N apportée (u)	Objectif de rendement (q/ha)	Rendement obtenu (q/ha)
PARCELLE 1	Blé	2006-2007	REF	203	73	93.03
			CSOL	190	73	85.1
	Tournesol	2007-2008	REF	50		33.79
			CSOL	0		26.06
	Maïs	2008-2009	REF	224	147	148.5
			CSOL	206	147	152.43
	Féverole	2009-2010	REF			51.37
			CSOL			45.51
	Maïs	2010-2011	REF	185	143	150.1
			CSOL	147	143	161.1
	Tournesol	2011-2012	REF	50		28.95
			CSOL	50		30.31
	Blé	2012-2013	REF	193	76	85.48
			CSOL	172	76	97.37
Soja	2013-2014	REF			29	
		CSOL			26	
PARCELLE 2	Tournesol	2006-2007	REF	0		19.9
			CSOL	0		21.9
	Maïs	2007-2008	REF	236	147	148
			CSOL	205	147	144.8
	Féverole	2008-2009	REF			48.4
			CSOL			51.8
	Blé	2009-2010	REF	184	73	86.32
			CSOL	135	73	79.4
	Soja	2010-2011	REF			42.82
			CSOL			31.87
	Maïs	2011-2012	REF	200	143	125.81
			CSOL	147	143	127.13
	Tournesol	2012-2013	REF	50		24.43
			CSOL	50		32.9
Blé	2013-2014	REF	183	76	85	
		CSOL	215	76	95	
PARCELLE 3	Maïs	2006-2007	REF	270	147	146.7
			CSOL	235	147	143.25
	Féverole	2007-2008	REF			51.97
			CSOL			48.36
	Blé	2008-2009	REF	171	73	102.9
			CSOL	166	73	94.8
	Tournesol	2009-2010	REF	50		39.6
			CSOL	50		38.5
	Blé	2010-2011	REF	213	76	97.96
			CSOL	197	76	96.88
	Soja	2011-2012	REF			41.8
			CSOL			44.93
	Maïs	2012-2013	REF	195	139	141
			CSOL	163	139	134.1
Tournesol	2013-2014	REF	50		21.65	
		CSOL	30		21.09	
PARCELLE 4	Pois	2006-2007	REF			43.8
			CSOL			42.1
	Blé	2007-2008	REF	215	73	90.42
			CSOL	197	73	94.09
	Tournesol	2008-2009	REF	50		39.5
			CSOL	50		40.8
	Maïs	2009-2010	REF	225	145	138.7
			CSOL	203	145	144.8
	Tournesol	2010-2011	REF	50		26.34
			CSOL	50		31.08
	Blé	2011-2012	REF	232	76	86.8
			CSOL	188	76	92.96
	Soja	2012-2013	REF			25.3
			CSOL			20.9
Maïs	2013-2014	REF	189	142	133.2	
		CSOL	157	142	154.1	

## Monoculture de maïs

	Culture	Campagne	Modalité	Dose N apportée (u)	Objectif de rendement (q/ha)	Rendement obtenu (q/ha)
REFERENCE	Maïs	2006-2007	REF	270	147	140.2
	Maïs	2007-2008	REF	234	147	139.44
	Maïs	2008-2009	REF	224	147	140.5
	Maïs	2009-2010	REF	225	145	137.44
	Maïs	2010-2011	REF	210	143	148.9
	Maïs	2011-2012	REF	225	143	131.4
	Maïs	2012-2013	REF	220	139	127.6
	Maïs	2013-2014	REF	214	142	138.98
NON LABOUR	Maïs	2006-2007	NL	270	147	129.5
	Maïs	2007-2008	NL	234	147	132.62
	Maïs	2008-2009	NL	224	147	132.9
	Maïs	2009-2010	NL	225	145	122.1
	Maïs	2010-2011	NL	195	136	150
	Maïs	2011-2012	NL	213	138	124
	Maïs	2012-2013	NL	206	129	127.6
	Maïs	2013-2014	NL	206	137	132.09
ECO - CM	Maïs	2006-2007	ECO-CM	217	147	132.8
	Maïs	2007-2008	ECO-CM	187	147	129.66
	Maïs	2008-2009	ECO-CM	180	147	135.1
	Maïs	2009-2010	ECO-CM	180	145	127.1
	BLE	2010-2011	ECO-CM	213	76	96.3
	Maïs	2011-2012	ECO-CM	187	143	139.6
	Maïs	2012-2013	ECO-CM	220	139	128.4
	Maïs	2013-2014	ECO-CM	214	142	143.46
Faible Pression d'Intrants	Maïs	2006-2007	FPI	160	147	113.9
	Maïs	2007-2008	FPI	141	147	93.55
	Maïs	2008-2009	FPI	135	147	121.7
	Maïs	2009-2010	FPI	135	145	115.9
	Maïs	2010-2011	FPI	168	143	122.4
	Maïs	2011-2012	FPI	180	143	114
	Maïs	2012-2013	FPI	176	139	111.8
	Maïs	2013-2014	FPI	171	142	128.4

## Annexe 7 : Tableaux récapitulatifs des reliquats post-récolte (en kg N/ha) de chaque parcelle de l'essai

### Rotation quadriennale

PARCELLE 1		CSOL 1				REF 1			
Culture ou CIPAN	Campagne	TX		TO *		TX		TO	
		N - NO3	N - NH4						
Pois	2005-2006	17	14	-	-	13	14	-	-
CIPAN Colza	2006-2007	13	19	-	-	66	9	-	-
Blé	2006-2007	16	12	7	10	13	9	9	9
CIPAN Ray Grass Hybride	2007-2008	1	7	-	-	16	11	-	-
Tournesol	2007-2008	8	17	-	-	10	13	9	11
CIPAN Colza	2008-2009	16	5	-	-	19	2	-	-
Mais	2008-2009	24	6	11	17	15	8	9	9
CIPAN Blé	2009-2010	6	7	-	-	9	4	-	-
Féverole	2009-2010	34	18	-	-	34	7	-	-
CIPAN Colza	2010-2011	4	13	-	-	31	6	-	-
Mais	2010-2011	24	3	10	11	13	7	9	7
CIPAN Avoine d'hiver	2011-2012	4	15	-	-	14	6	-	-
Tournesol	2011-2012	19	6	18	12	19	3	18	5
CIPAN Vesce + Colza	2012-2013	19	5	-	-	28	3	-	-
Blé	2012-2013	10	7	10	10	10	6	19	7
CIPAN Avoine strigosa	2013-2014	13	13	-	-	6	6	-	-
Soja	2013-2014	8	9	-	-	13	8	-	-

PARCELLE 2		CSOL 2				REF 2			
Culture ou CIPAN	Campagne	TX		TO		TX		TO	
		N - NO3	N - NH4						
Blé	2005-2006	14	13	23	13	16	15	16	16
CIPAN Ray Grass Hybride	2006-2007	9	3	-	-	20	5	-	-
Tournesol	2006-2007	4	8	-	-	4	7	-	-
CIPAN Colza	2007-2008	1	6	-	-	11	4	-	-
Mais	2007-2008	9	9	4	10	12	6	9	6
CIPAN Blé	2008-2009	8	8	-	-	8	5	-	-
Féverole	2008-2009	22	12	-	-	27	18	-	-
CIPAN Colza	2009-2010	18	17	-	-	66	8	-	-
Blé	2009-2010	32	10	40	4	31	13	32	7
CIPAN Avoine de Prtps	2010-2011	12	9	-	-	24	7	-	-
Soja	2010-2011	23	11	-	-	19	9	-	-
CIPAN Colza	2011-2012	9	11	-	-	39	11	-	-
Mais	2011-2012	34	5	22	4	23	3	20	1
CIPAN Avoine d'hiver	2012-2013	8	4	-	-	11	4	-	-
Tournesol	2012-2013	15	2	12	5	13	5	14	4
CIPAN Vesce + Colza	2013-2014	24	3	-	-	19	10	-	-
Blé	2013-2014	22	9	23	4	16	9	39	7

PARCELLE 3		CSOL 3				REF 3			
Culture ou CIPAN	Campagne	TX		TO		TX		TO	
		N - NO3	N - NH4						
Tournesol	2005-2006	24	9	13	11	19	8	10	10
CIPAN Colza	2006-2007	9	6	-	-	23	5	-	-
Mais	2006-2007	11	8	7	10	18	5	15	6
CIPAN Blé	2007-2008	2	7	-	-	7	7	-	-
Féverole	2007-2008	28	6	-	-	15	4	-	-
CIPAN Colza	2008-2009	2	15	-	-	34	12	-	-
Blé	2008-2009	16	15	24	20	16	10	25	16
CIPAN Ray Grass Hybride	2009-2010	3	16	-	-	14	14	-	-
Tournesol	2009-2010	20	8	21	6	20	3	16	11
CIPAN Vesce + Colza	2010-2011	9	11	-	-	18	8	-	-
Blé	2010-2011	34	11	32	15	28	4	32	8
CIPAN Avoine de Prtps	2011-2012	3	3	-	-	26	2	-	-
Soja	2011-2012	22	8	-	-	23	5	-	-
CIPAN Colza	2012-2013	6	11	-	-	17	5	-	-
Mais	2012-2013	15	9	10	7	17	4	13	6
CIPAN Avoine d'hiver	2013-2014	21	6	-	-	23	3	-	-
Tournesol	2013-2014	7	14	8	14	12	7	9	7

PARCELLE 4		CSOL 4				REF 4			
Culture ou CIPAN	Campagne	TX		TO		TX		TO	
		N - NO3	N - NH4						
Mais	2005-2006	11	11	8	11	11	15	7	31
CIPAN Colza	2006-2007	17	5	0	0	17	8	0	0
Pois	2006-2007	7	11	-	-	9	11	-	-
CIPAN Colza	2007-2008	15	7	-	-	49	9	-	-
Blé	2007-2008	10	9	32	17	22	11	11	12
CIPAN Ray Grass Hybride	2008-2009	16	5	-	-	20	9	-	-
Tournesol	2008-2009	9	11	6	9	21	7	12	16
CIPAN Colza	2009-2010	4	12	-	-	8	12	-	-
Mais	2009-2010	18	9	17	6	21	8	18	3
CIPAN Avoine d'hiver	2010-2011	3	8	-	-	3	7	-	-
Tournesol	2010-2011	8	7	11	7	15	14	14	12
CIPAN Vesce + Colza	2011-2012	8	16	-	-	34	7	-	-
Blé	2011-2012	14	12	10	13	16	11	12	13
CIPAN Avoine strigosa	2012-2013	2	25	-	-	2	9	-	-
Soja	2012-2013	16	8	-	-	16	7	-	-
CIPAN Colza	2013-2014	24	7	-	-	39	11	-	-
Mais	2013-2014	22	9	15	13	19	11	7	11

## Monoculture de maïs

REFERENCE		REF			
		TX		TO	
Culture ou CIPAN	Campagne	N - NO3	N - NH4	N - NO3	N - NH4
<i>Maïs</i>	2005-2006	28	18	6	18
Maïs	2006-2007	15	10	12	10
Maïs	2007-2008	14	15	6	15
Maïs	2008-2009	16	11	7	20
Maïs	2009-2010	24	10	16	10
Maïs	2010-2011	12	10	8	16
Maïs	2011-2012	19	6	16	9
Maïs	2012-2013	16	6	6	9
Maïs	2013-2014	14	10	9	12

NON LABOUR		NL			
		TX		TO	
Culture ou CIPAN	Campagne	N - NO3	N - NH4	N - NO3	N - NH4
<i>Maïs</i>	2005-2006	44	16	6	21
Maïs	2006-2007	27	15	12	11
Maïs	2007-2008	33	14	4	17
Maïs	2008-2009	12	17	8	19
Maïs	2009-2010	22	7	20	10
Maïs	2010-2011	9	13	9	16
Maïs	2011-2012	20	9	14	11
Maïs	2012-2013	21	6	15	8
Maïs	2013-2014	12	13	9	21

ECONOMIQUE - COUPURE MONOCULTURE		ECO - CM			
		TX		TO	
Culture ou CIPAN	Campagne	N - NO3	N - NH4	N - NO3	N - NH4
<i>Maïs</i>	2005-2006	10	13	6	20
Maïs	2006-2007	13	6	10	19
Maïs	2007-2008	6	10	5	11
Maïs	2008-2009	11	10	9	13
Maïs	2009-2010	18	7	21	7
BLE	2010-2011	25	4	33	4
CIPAN Avoine + Vesce	2011-2012	18	4	-	-
Maïs	2011-2012	31	4	17	6
Maïs	2012-2013	19	3	15	6
Maïs	2013-2014	13	6	12	11

FAIBLE PRESSION D'INTRANTS		FPI			
		TX		TO	
Culture ou CIPAN	Campagne	N - NO3	N - NH4	N - NO3	N - NH4
<i>Maïs</i>	2005-2006	12	13	6	17
Maïs	2006-2007	9	12	11	11
Maïs	2007-2008	5	14	4	15
Maïs	2008-2009	11	14	6	19
Maïs	2009-2010	16	12	13	12
Maïs	2010-2011	6	13	8	15
Maïs	2011-2012	18	8	19	5
Maïs	2012-2013	15	5	9	9
Maïs	2013-2014	13	12	10	15

Le T0 correspond au témoin zéro azote de chaque parcelle. Chaque année, une partie de chaque parcelle n'est pas fertilisée pour permettre d'analyser l'efficacité des apports et de calculer les apports pour l'année suivante.

**Annexe 8 : Tableau récapitulatif de l'azote lixivié sous culture de maïs par modalités de la monoculture de maïs**

	ECO	FPI	NL	REF
2006-2007	50.01	24.81	47.53	22.16
2007-2008	11.71	6.99	28.41	17.68
2008-2009	8.83	3.66	5.18	14.03
2009-2010	13.80	6.94	12.83	8.15
2010-2011	*	10.03	21.70	11.05
2011-2012	80.31	29.83	42.76	84.93
2012-2013	22.59	20.32	22.50	25.02
2013-2014	6.19	8.42	7.90	10.77

*\*La campagne 2010-2011 comportait un blé pour la modalité ECO*

**Annexe 9 : Tableau récapitulatif des CAU selon chaque modalité**

	ECO	FPI	NL	REF
2005-2006	0.85	0.70	0.67	0.78
2006-2007	0.80	0.60	0.66	0.75
2007-2008	0.72	0.76	0.74	0.70
2008-2009	1.00	0.80	0.80	0.91
2009-2010	0.88	0.75	0.70	0.80
2010-2011	0.74	1.01	0.85	0.76
2011-2012	0.85	0.63	0.40	0.57
2012-2013	0.74	0.79	0.74	0.69
2013-2014	0.56	0.70	0.56	0.58

**Annexe 10 : Tableau récapitulatif de l'azote non valorisé par campagne et par modalité de la monoculture de maïs**

	ECO	FPI	NL	REF
2005-2006	24.55	50.87	76.74	51.88
2006-2007	43.57	64.42	92.94	66.51
2007-2008	51.93	33.67	60.86	70.09
2008-2009	-0.15	27.30	44.60	19.69
2009-2010	22.00	35.41	68.56	44.50
2010-2011	52.11	-1.07	28.97	49.46
2011-2012	27.48	62.72	127.40	97.06
2012-2013	55.13	36.39	51.50	66.71
2013-2014	96.14	52.75	92.81	90.52

## Annexe 11 : récapitulatif des applications de produits phytosanitaires par modalité et type de conduite au cours de l'essai.

### Parcelle 1 – rotation quadriennale

	Culture	Modalité	Herbicide			Fongicide			Insecticide			
			Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	
2005	Mais		Stake 3.5 l	Alachlore	14/04/2005							
			Emblem 2 kg	Bromoxynil ester octanoïque	12/05/2007							
2006	Pois		Nikeyl 3 l	Acionifen et Flurtamone	07/03/2006	Fungistop 3 x 2 l	Chlorothalonil	17/05/2006 - 30/05/2006 - <del>non concerné</del>		Split protech 0.42 l	Deltaméthrine	12/04/2006
										Enduro 0.4 l	Bétacyfluthrine Oxydéméton-méthyl	17/05/2006
2007	Blé	Réf 1	Ormond 6 l	Glyphosate	20/07/2006	Acanto 0.2 l	Cyprodinil et Picoxystrobine	23/04/2007		Baythroid 2x 0.3L	Beta-Cyfluthrin	27/10/06 – 09/11/06
			Ip flo 2.4 l	Isoproturon Diflufenicanil et Ioxynil octanoate et Bromoxynil octanoate	27/11/2006	Opus 0.5l Amistar 0.2 l	Epoxiconazole Azoxystrobine	23/04/2007 23/05/2007				
		Csol 1	Ormond 6l	Glyphosate	20/07/2006	Acanto 0.3 l	Cyprodinil et Picoxystrobine	23/04/2007		Split protech 0.33 l	Deltaméthrine	11/09/2006
			Allié express 40g	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-ethyl	14/03/2007	Opus 0.7 l	Epoxiconazole	23/04/2007		Baythroid 2x 0.3L	Beta-Cyfluthrin	27/10/06 – 09/11/06
2008	Tournesol	Réf 1	Tréflan 2.5 l	Trifluraline	21/04/2008	TS : fludioxonil + métalaxyl M			25/04/2008			
		Csol 1	Nikeyl 3.5 l	Acionifen et Flurtamone	25/04/2008	TS : fludioxonil + métalaxyl M			25/04/2008			
			Mercantor 0.63 l+	S-Metolachlor	21/04/08.	TS : fludioxonil + métalaxyl M			21/04/08.			
			Nikeyl 1.5 l	Acionifen et Flurtamone	21/04/08.	TS : fludioxonil + métalaxyl M			21/04/08.			
2009	Mais	Réf 1	Trophée 3.5 l	Acétochlore	23/04/2009	TS : fludioxonil + métalaxyl M			17/04/2009	Force 1.5 G 11.6 kg	Téfluthrine	20/04/2009
			Callisto 0.5 l + Milagro 0.5 l	Mésotrione Nicosulfuron	12/05/2009 12/05/2009	TS : fludioxonil + métalaxyl M			17/04/2009	Cytrine 0.75 l	Cyperméthrine	12/06/2009
		Csol 1	Callisto 0.5 l	Mésotrione	12/05/09.	TS : fludioxonil + métalaxyl M			17/04/2009	Décis protech 1.33 l	Deltaméthrine	30/06/2009
			Milagro 0.5 l Milagro 0.5 l	Nicosulfuron Nicosulfuron	12/05/09. 29/05/2009	TS : fludioxonil + métalaxyl M			17/04/2009	Décis protech 1.33 l	Deltaméthrine	20/07/2009
2010	Féverole	Réf 1	Nirvana 3.5 l	Imazamox et Pendiméthaline	17/03/2009	TS : fludioxonil + métalaxyl M + cymoxanil			02/03/2010	Décis protech 0.42 l	Deltaméthrine	22/04/2010
		Csol 1	Nirvana 1.57 l	Imazamox et Pendiméthaline	02/03/2010	Sunorg pro 0.8 l	Métconazole	11/06/2010	Pirimor 0.75 kg	Pirimicarbe	28/05/2010	
						Sunorg pro 0.8 l	Métconazole	23/06/2010				
						TS : fludioxonil + métalaxyl M + cymoxanil	02/03/2010		Décis protech 0.42 l	Deltaméthrine	22/04/2010	
						Sunorg pro 0.8 l	Métconazole	11/06/2010	Pirimor 0.75 kg	Pirimicarbe	28/05/2010	
						Sunorg pro 0.8 l	Métconazole	23/06/2010				
2011	Mais	Réf 1	Trophée 3.5 l	Téfluthrine	15/04/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011	Force 1.5 G 11.7 kg	Téfluthrine	13/04/2011
			Callisto 0.5 l	Mésotrione	04/05/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011			
			Ritmic 0.5L	Nicosulfuron	04/05/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011			
			Cadeli 0.2l	Bromoxynil ester octanoïque	04/05/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011			
		Csol 1	Callisto 0.2 l	Mésotrione	29/04/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011	Force 1.5 G 11.7 kg	Téfluthrine	13/04/2011
			Cadeli 0.1l	Bromoxynil ester octanoïque	29/04/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011			
			Callisto 0.2 l	Mésotrione	11/05/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011			
			Ritmic 0.3L	Nicosulfuron	11/05/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011			
			Cadelli 0.2l	Bromoxynil ester octanoïque	11/05/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M			13/04/2011			
2012	Tournesol	Réf 1	Mercantor 1.4l	S-Metolachlor	03/04/2012	TS : fludioxonil + métalaxyl M			06/04/2012			
			Pulsar 40 - 1.25l	Imazamox	18/06/2012	TS : fludioxonil + métalaxyl M			06/04/2012			
		Csol 1	Mercantor 0.63l	S-Metolachlor	06/04/2012	TS : fludioxonil + métalaxyl M			06/04/2012			
			Nikeyl 1.60l	Acionifen et Flurtamone	06/04/2012	TS : fludioxonil + métalaxyl M			06/04/2012			
			Pulsar 40 0.48l	Imazamox	18/06/2012	TS : fludioxonil + métalaxyl M			06/04/2012			
2013	Blé	Réf 1	Brennus 1.2 L	Bromoxynil octanoate et Pinoxaden et Cloquintocet-mexyl	22/03/2013	TS : Gaucho			Imidaclopride et Prothioconazole	31/10/2012		
			Axial Pratic 1,2 L	Pinoxaden et Cloquintocet-mexyl	04/04/2013	Opus 0.9 L	Epoxiconazole	02/05/2013				
		Csol 1	Axial Pratic 1,2 L	Pinoxaden et Cloquintocet-mexyl	04/04/2013	Sportak 0.7L	Prochloraz	02/05/2013				
			Allié Express 50 GR	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-	04/04/2013	Fandango 1.2 L	Fluoxastrobine et Prothioconazole	27/05/2013				
						TS : Redigo	Prothioconazole	31/10/2012				
						Adexar 0.8 L	Epoxiconazole et Fluxapyroxad	02/05/2013				
						Fandango S 1.2L	Fluoxastrobine et Prothioconazole	27/05/2013				
2014	Soja	Réf 1	Mercantor Gold 1.4l	S-Metolachlor	05/05/2014							
			Pulsar 40 1l	Imazamox	03/06/2014							
		Csol 1	Mercantor Gold 1.4l	S-Metolachlor	05/05/2014							
			Pulsar 40 1l	Imazamox	03/06/2014							
			Basagran SG 1.6kg	Bentazone	03/06/2014							

## Parcelle 2 – rotation quadriennale

Culture	Modalité	Herbicide			Fongicide			Insecticide			
		Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	
2005	Pois	Nikeyl 3 l	Aclonifen et	17/03/2005	Fungistop 3 x 2 l	Chlorothalonil	20/05 03/06	Split Expert 0.06 l	Deltaméthrine	05/04/2005	
		Basagran SG 0.5 kg	Bentazone	21/04/2005			16/06/05	Karaté Xpress 0.13 kg	Lambda-cyhalothrine	21/04/2005	
2006	Blé	Pratiko 2 l	Glyphosate	29/07/2005	Opéra 0.3 l	Epoxiconazole et Pyraclostrobine	03/05/2006	Split protech 0.55 l	Deltaméthrine	08/11/2005	
		First 0.6 l	Diffufénicanil et Ioxynil octanoate et Bromoxynil octanoate	17/03/2006	Opus 0.4 l	Epoxiconazole et Pyraclostrobine	03/05/2006				
2007	Tournesol	Réf 2	Tréflan 2.5 l	Trifluraline	05/04/2007						
		Cso1 2	Nikeyl 3.5 l	Aclonifen et Flurtamone	06/04/2007						
			Ormond 2 l	Glyphosate	11/12/2006						
			Mercantor 0.63 l	S-Metolachlor	06/04/2007						
		Nikeyl 1.6 l	Aclonifen et Flurtamone	06/04/2007							
2008	Maïs	Réf 2	Trophée 3.5 l	Acétochlore	05/05/2008	TS : fludioxonil	02/05/2008	Force 1.5 g 11.6 kg	Téfluthrine	02/05/2008	
		Cso1 2	Mikado 0.75 l	Sulcotriane	16/05/2008	métalaxyl M	02/05/2008	Cytrhine L 0.75 l	Cyperméthrine	17/06/2008	
			Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	16/05/2008	thirame	02/05/2008	Décis expert 2 x 0.125 l	Deltaméthrine	04/07/2008 06/08/2008	
			Cadéli 0.66 l	Bromoxynil ester octanoïque	16/05/2008						
			Callisto 0.5 l	Mésotriane	16/05/2008	TS : fludioxonil	02/05/2008	Force 1.5 g 11.6 kg	Téfluthrine	02/05/2008	
			Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	16/05/2008	métalaxyl M	02/05/2008	Cytrhine L 0.75 l	Cyperméthrine	17/06/2008	
		Cadéli 0.66 l	Bromoxynil ester octanoïque	16/05/2008	thirame	02/05/2008	Décis expert 2 x 0.125 l	Deltaméthrine	04/07/2008 06/08/2008		
2009	Féverole	Réf 2	Nirvana 3.5 l	Imazamox et Pendiméthalin	26/02/2009	TS : fludioxonil	26/02/2009	Décis protech 0.42 l	Deltaméthrine	09/04/2009	
		Cso1 2				métalaxyl M	26/02/2009	Karaté express 0.125 l	Lambda-cyhalothrine	24/05/2009-29/05/2009	
						cymoxanil	26/02/2009	Karaté K 0.125 l	Lambda-cyhalothrine et Pirimicarbe	03/06/2009	
						Sunorg pro 0.8 l	Métconazole	25/06/2009	Talstar flo 0.10 l	Bifenthrine	17/06/2009
						TS : fludioxonil	26/02/2009	Décis protech 0.42 l	Deltaméthrine	09/04/2009	
						métalaxyl M	26/02/2009	Karaté express 0.125 l	Lambda-cyhalothrine	24/05/2009 29/05/2009	
			cymoxanil	26/02/2009	Karaté K 1.25 l	Lambda-cyhalothrine et Pirimicarbe	03/06/2009				
			Sunorg pro 0.8 l	Métconazole	25/06/2009	Talstar flo 0.10 l	Bifenthrine	17/06/2009			
2010	Blé	Réf 2	Isoproturée 2.4 l	Isoproturon	14/12/2009	TS : Celest	difénoconazole et Fludioxonil	20/10/2009	Décis protech 0.5 l	Deltaméthrine	26/11/2009
		Cso1 2	First 0.6 l	Diffufénicanil et Ioxynil octanoate et Bromoxynil octanoate	14/12/2009	Bell 0.75 l	Boscalide et Epoxiconazole	03/05/2010			
						Pyros 0.7 l	Prochloraz	03/05/2010			
						Acanto 0.2 l	Cyprodinil et Picoxystrobine	28/05/2010			
						Opus 0.2 l	Epoxiconazole	28/05/2010			
						TS : Celest	difénoconazole et Fludioxonil	20/10/2009	Décis protech 0.5 l	Deltaméthrine	26/11/2009
			Allié express 50 g	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-ethyl	02/04/2010	Acanto 0.4 l	Cyprodinil et Picoxystrobine	20/05/2010			
						Opus 0.8 l	Epoxiconazole	20/05/2010			
2011	Soja	Réf2	Mercantor 1.4 l	S-Metolachlor	22/04/2011						
		Cso1 2	Basagran SG 1.6 kg	Bentazone	09/05/2011						
			Stratos 1.2l	Cycloxydime	18/05/2011						
			Mercantor 1.4 l	S-Metolachlor	22/04/2011						
			Basagran SG 0.8 kg	Bentazone	09/05/2011						
		Stratos 1.2l	Cycloxydime	18/05/2011							
2012	maïs	Réf2	Trophée 3.5l	Acétochlore	07/05/2012	TS : fludioxonil	04/05/2012				
		Cso1 2	Callisto 0.5l	Mésotriane	05/06/2012	métalaxyl M					
			Cadéli 0.2l	Bromoxynil ester octanoïque	05/06/2012	thirame					
			Callisto 0.5l	Mésotriane	24/05/2012	TS : fludioxonil	04/05/2012				
			Casper 150g	Prosulfuron et Dicamba	05/06/2012	métalaxyl M					
			Milagro 0.5l	Nicosulfuron	05/06/2012	thirame					
2013	Tournesol	Réf2	Mercantor 1.4l	S-Metolachlor	06/05/2013	TS : fludioxonil +	06/05/2013				
		Cso1 2	Pulsar 40 - 1.25l	Imazamox	18/06/2013	métalaxyl M					
			Mercantor 0.63l	S-Metolachlor	07/05/2013	TS : fludioxonil +					
			Nikeyl 1.59l	Aclonifen et Flurtamone	07/05/2013	métalaxyl M					
2014	Blé	Réf2	Axial Pratic 1.2 L	Pinoxaden et Cloquintocet-Bromoxynil octanoate et Diflufénicanil	18/02/2014	TS : Gaucho	25/10/2013				
		Cso1 2	Brennus 1.5 L	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-ethyl	07/03/2014	Opus 0.9 L	Epoxiconazole	14/04/2014			
			Allié Express 40 GR	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-ethyl	09/04/2014	Sportak 0.7L	Prochloraz	14/04/2014			
						Fandango 1.2 L	Fluoxastrobine et F	16/05/2014			
						TS : Redigo	25/10/2013				
						Allié Express 50g	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-ethyl	17/03/2014	Adexar 0.8 L	Epoxiconazole et Fluxaproxad	14/04/2014
						Fandango S 1.2L	Fluoxastrobine et Prothioconazole	16/05/2014			

## Parcelle 3 – rotation quadriennale

Année	Culture	Modalité	Herbicide			Fongicide			Insecticide		
			Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date
2005	Blé		First 0.75 l	Diflufenicanil et Ioxynil octanoate et Bromoxynil octanoate	23/03/2005	Opus 0.4 l	Epoxiconazole	06/05/2005			
						Acanto 0.2 l	Cyprodinil et Picoxystrobine	06/05/2005			
						Opus 0.5 l	Epoxiconazole	27/05/2005			
						Amistar 0.2 l	Azoxystrobine	27/05/2005			
2006	Tournesol		Pratiko 2 l	Glyphosate	29/07/2005						
			Tréflan 2.5 l	Trifluraline	18/04/2006						
			Nikeyl 3.5 l	Aclonifen et Flurtamone	20/04/2006						
2007	Mais	Réf 3	Trophée 3.5 l	Acétochlore	20/04/2007						
			Mikado 0.75 l	Sulcotrione	11/05/2007						
			Banvel 0.4 l	Dicamba sel de diméthylamine	11/05/2007						
			Banvel 0.2 l	Dicamba sel de diméthylamine	30/05/2007						
		Csol 3	Callisto 0.5 l	Mésotrione	11/05/2007						
			Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	11/05/2007						
			Eclat 0.1 kg	Bromoxynil ester octanoïque	11/05/2007						
2008	Féverole	Réf 3	Centaure 3 l	Clomazone et Linuron et Trifluraline	20/02/2008	TS : fludioxonil		20/02/2008	Talstar flo 0.10 l	Bifenthrine	28/03/2008
						métalaxyl M			Karaté K 0.125 l	Lambda-cyhalothrine et Pirimicarbe	17/06/2008
						cymoxanil					
						Sunorg pro 0.8 l	Métconazole	18/06/2008			
						Sunorg pro 0.6 l	Métconazole	27/06/2008			
		Csol 3	Centaure 1.35 l	Clomazone et Linuron et Trifluraline	20/02/2008	TS : fludioxonil		20/02/2008	Talstar flo 0.10 l	Bifenthrine	28/03/2008
						métalaxyl M			Karaté K 0.125 l	Lambda-cyhalothrine et Pirimicarbe	17/06/2008
						cymoxanil					
						Sunorg pro 0.8 l	Métconazole	18/06/2008			
						Sunorg pro 0.6 l	Métconazole	27/06/2008			
2009	Blé	Réf 3	Matin 2.4 l	Isoproturon	10/03/09.	TS : fludioxonil		10/11/2008			
			First 0.60 l	Diflufenicanil et Ioxynil octanoate et Bromoxynil octanoate	10/03/09.	Opus 0.5 l	Epoxiconazole	29/04/2009			
						Sportak 0.7 l	Prochloraz	29/04/2009			
						Acanto 0.2 l	Cyprodinil et Picoxystrobine	19/05/2009			
						Opus 0.5 l	Epoxiconazole	19/05/2009			
		Csol 3	Allié express 50 g	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-ethyl	24/04/2009	TS : fludioxonil		10/11/2008			
						Acanto 0.3 l	Cyprodinil et Picoxystrobine	19/05/2009			
						Opus 0.7 l	Epoxiconazole	19/05/2009			
2010	Tournesol	Réf 3	Mercantor 1.4 l	S-Metolachlor	19/04/2010	TS : fludioxonil		21/04/2010			
			Nikeyl 3.5 l	Aclonifen et Flurtamone	21/04/2010	métalaxyl M					
		Csol 3	Mercantor 0.63 l	S-Metolachlor	21/04/2010	TS : fludioxonil		21/04/2010			
			Nikeyl 1.6 l	Aclonifen et Flurtamone	21/04/2010	métalaxyl M					
2011	Blé	Réf 3	Brennus 1.2 l	Bromoxynil octanoate et Diflufenicanil	17/02/2011	TS : Rédigo +		21/10/2010			
						(prothioconazole)					
						Bell 0.75 l	Boscalide et Epoxiconazole	22/04/2011			
						Pyros 0.70 l	Prochloraz	22/04/2011			
						Fandango 1 l	Fluoxastrobine et Prothioconazole	12/05/2011			
		Csol 3	Mextra 2 l	Ioxynil et Mécoprop-P ester de butoxyéthanol	24/03/2011	TS : Signal +		21/10/2010			
						Gauche					
						Fandango 1 l	Fluoxastrobine et Prothioconazole	02/05/2011			
						Pyros 0.70 l	Prochloraz	02/05/2011			
2012	Soja	Réf 3	Mercantor Gold 1.4l	S-Metolachlor	15/05/2012						
			Basagran SG 1.6kg	Bentazone	14/06/2012						
		Csol 3	Li700 0.1l	Lecithine de soja	14/06/2012						
			Mercantor Gold 1.4l	S-Metolachlor	15/05/2012						
			Basagran SG 1.6kg	Bentazone	14/06/2012						
			Li700 0.1l	Lecithine de soja	14/06/2012						
2013	Mais	Réf 3	Adengo 1.5l	Isoxaflutole et Thiencarbazone-méthyl et Cyprosulfamide	13/05/2013	TS : fludioxonil		24/04/2013	Cheyenne 7.14 kg	Clothianidine	24/04/2013
			Milagro 0.3l	Nicosulfuron	13/05/2013	métalaxyl M			Cheyenne 7.14 kg	Clothianidine	24/04/2013
			Callisto 0.5l	Mésotrione	28/05/2013	thirame					
		Csol 3	Casper 100g	Prosulfuron et Dicamba	28/05/2013	TS : fludioxonil		24/04/2013			
			Callisto 0.3l	Mésotrione	07/06/2013	métalaxyl M					
			Milagro 0.5l	Nicosulfuron	07/06/2013	thirame					
			Casper 100g	Prosulfuron et Dicamba	21/06/2013						
2014	Tournesol	Réf 3	Mercantor 1.4l	S-Metolachlor	29/04/2014	TS : fludioxonil +		29/04/2014			
			Pulsar 40 - 1.25l	Imazamox	03/06/2014	métalaxyl M					
		Csol 3	Mercantor 0.63l	S-Metolachlor	29/04/2014	TS : fludioxonil +		29/04/2014			
			Nikeyl 1.58l	Aclonifen et Flurtamone	29/04/2014	métalaxyl M					

## Parcelle 4 – rotation quadriennale

Année	Culture	Modalité	Herbicide		Fongicide		Insecticide							
			Produit Commercial	Date	Produit Commercial	Date	Produit Commercial	Date						
2005	Tournesol		Tréflan 2.5 l	Trifluraline	04/04/2005									
			Nikeyl 3.5 l	Adonifen et Flurtamone	04/04/2005									
2006	Maïs		Trophée 3.5 l	Acétochlore	26/04/2006									
			Mikado 0.5 l	Sulcotrione	17/05/2006									
2007	Pois	Réf 4	Nikeyl 3.0 l	Adonifen et Flurtamone	23/02/2007	Fungistop 3 x 2 l	Chlorothalonil	07/05/2007	Talstar flo 0.10 l	Bifenthrine	27/03/2007			
		Csol 4	Nikeyl 3.0 l	Adonifen et Flurtamone	23/02/2007	Cicéro 3 x 2 l	Flutriafol et Chlorothalonil	10/05/2007	Enduro 0.4 l	Bétacyfluthrine Oxydéméton-méthyl	07/05/2007	Talstar flo 0.10 l	Bifenthrine	27/03/2007
									Enduro 0.4 l	Bétacyfluthrine Oxydéméton-méthyl	07/05/2007			
2008	Blé	Réf 4	Matin 2.4 l	Isoproturon Diflufenicanil et Ioxynil octanoate et Bromoxynil octanoate	25/01/2008	TS : fludioxonil.		24/10/2007	TS : anthraquinone (corvifuge)		24/10/2007			
			First 0.6 l		25/01/2008	Opus 0.5 l	Epoxiconazole	30/04/2008						
		Csol 4	Allié express 50 g	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-ethyl	16/04/2008	Sportak 0.7 l	Prochloraz	30/04/2008						
						Opus 0.5 l	Epoxiconazole	21/05/2008						
2009	Tournesol	Réf 4	Mercantor 1.4 l	S-Metolachlor	01/04/2009	Acanto 0.2 l	Cyprodinil et Picoxystrobine	21/05/2008						
			Nikeyl 3.5 l	Adonifen et Flurtamone	07/04/2009	TS : fludioxonil + métalaxyl.		06/04/2009						
		Csol 4	Round-up 2 l	Glyphosate	28/11/08.	TS : fludioxonil + métalaxyl		06/04/2009						
			Mercantor 0.63 l + Nikeyl 1.6 l	S-Metolachlor Adonifen et Flurtamone	06/04/2009 06/04/2009									
2010	Maïs	Réf 4	Trophée 3.5 l	Acétochlore	16/04/2010	TS : fludioxonil + thirame + metalaxyl M		14/04/2010						
			Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	20/05/2010									
			Callisto 0.5 l	Mésotrione	20/05/2010									
		Csol 4	Peak 6g	Prosulfuron et Dicamba	20/05/2010	TS : fludioxonil + thirame + metalaxyl M		14/04/2010						
			Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	20/05/2010									
			Callisto 0.5 l	Mésotrione	20/05/2010									
2011	Tournesol	Réf4	Mercantor 1.40 l	S-Metolachlor	05/04/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl		07/04/2011						
			Pulsar 1.25	Imazamox	12/05/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl		07/04/2011						
		Csol 4	Mercantor 0.63 l	S-Metolachlor	07/04/2011									
			Nikeyl 1.60 l	Adonifen et Flurtamone	07/04/2011									
2012	Blé	Réf4	Fosburi	Diflufenicanil et Flurénacet	09/12/2011	TS : Redigo		21/10/2011						
		Csol 4	Allié Express	Metsulfuron-méthyl et Carfentrazone-ethyl	27/03/2012	Cherokee 2l	Chlorothalonil et Cyproconazole	26/04/2012						
						Adexar 0.8l	Epoxiconazole et Fluxapyroxa	24/05/2012						
2013	Soja	Réf4	Mercantor Gold 1.4l	S-Metolachlor	27/05/2013	TS : Redigo		21/10/2011						
			Pulsar 40 1l	Imazamox	25/06/2013	Adexar 0.8l	Epoxiconazole et Fluxapyroxa	04/05/2012						
			Mercantor Gold 1.4l	S-Metolachlor	27/05/2013	Fandengo 1.2l	Fluoxastrobine et Prothioconazole	25/05/2012						
		Csol 4	Basagran SG 0.8kg	Bentazone	25/06/2013									
			Li700 0.1l	Lecithine de soja	25/06/2013									
2014	Maïs	Réf4	Adengo 1.5l	Isoxaflutole et Thiencarbazone-méthyl et Cyprosulfamide	30/04/2014	TS : fludioxonil		10/04/2014	Belem 0.8MG 12kg	Cyperméthrine	10/04/2014			
			Milagro 0.3l	Nicosulfuron	30/04/2014	métalaxyl M thirame								
		Csol 4	Adengo 1.5l	Isoxaflutole et Thiencarbazone-méthyl et Cyprosulfamide	25/04/2014	TS : fludioxonil		10/04/2014						
			Milagro 0.3l	Nicosulfuron	25/04/2014	métalaxyl M thirame								

## Référence – monoculture de maïs

Année	Culture	Herbicide			Fongicide			Insecticide		
		Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date
2005	Maïs	Trophée 3.5 l	Acétochlore	14/04/2005						
		Mikado 0.5 l	Sulcotrione	19/05/2005						
2006		Pratiko 7 l	Glyphosate	15/11/2005						
		Trophée 3.5 l	Acétochlore	26/04/2006						
		Mikado 0.5 l	Sulcotrione	17/05/2006						
		Milagro 1.25 l	Nicosulfuron	17/05/2006						
		Milagro 0.25 l	Nicosulfuron	06/06/2006						
2007		Trophée 3.5 l	Acétochlore	20/04/2007						
		Mikado 0.5 l	Sulcotrione	11/05/2007						
		Callisto 0.5 l	Mésotrione	11/05/2007						
		Eclat 0.1 kg	Bromoxynil ester octanoïque	11/05/2007						
2008		Trophée 3.5 l	Acétochlore	05/05/2008	TS : fludioxonil + métalaxyl M + thirame.		02/05/2008	Force 1.5 G 11.6 kg	Téfluthrine	02/05/2008
		Mikado 0.5 l	Sulcotrione	16/05/2008				Cytrine L 0.75 l	Cyperméthrine	17/06/2008
		Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	16/05/2008				Décis expert 2 x 0.125 l	Deltaméthrine	04/07/2008
		Cadéli 0.66 l	Bromoxynil ester octanoïque	16/05/2008						06/08/2008
		Banvel 0.4 l	Dicamba sel de diméthylamine	21/05/2008						
		Banvel 0.2 l	Dicamba sel de diméthylamine	10/06/2008						
2009		Trophée 3.5 l	Acétochlore	23/04/2009	TS : fludioxonil + métalaxyl M +		20/04/2009	Force 1.5 G 11.6 kg	Téfluthrine	20/04/2009
		Callisto 0.5 l	Mésotrione	18/05/2009				Cytrine L 0.75 l	Cyperméthrine	12/06/2009
	Emblem 0.75 kg	Bromoxynil ester octanoïque	18/05/2009	Amistar 1l – 06/05/09	Azoxystrobine	06/05/2009	Décis protech 2 x 1.33 l	Deltaméthrine	30/06/2009	
	Banvel 0.4 l	Dicamba sel de diméthylamine	18/05/2009						20/07/09	
	Banvel 0.2 l	Dicamba sel de diméthylamine	29/05/2009							
2010	Trophée 3.5 l	Acétochlore	16/04/2010	TS : fludioxonil + métalaxyl M + thirame		14/04/2010				
	Callisto 0.5 l	Mésotrione	21/05/2010							
	Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	21/05/2010							
	Casper 2x 100 g	Prosulfuron et Dicamba	21/05/2010							
			04/06/2010							
2011	Trophée 3.5 l	Acétochlore	15/04/2011	TS : fludioxonil + métalaxyl M +		13/04/2011	Force 1.5 G 11.7 kg	Téfluthrine	13/04/2011	
	Callisto 0.4 l	Mésotrione	04/05/2011							
	Casper 150 g	Prosulfuron et Dicamba	04/05/2011	Amistar 0.38 l/ha	Azoxystrobine	11/05/2011				
	Ritmic 0.50 l	Nicosulfuron	18/05/2011							
	Casper 100 g	Prosulfuron et Dicamba	27/05/2011							
2012	Trophée 3.5 l	Acétochlore	07/05/2012	TS : fludioxonil + métalaxyl M +		04/05/2012	Belem 0.8mg - 12kg	Cyperméthrine	04/05/2012	
	Callisto 0.3 l	Mésotrione	05/06/2012							
	Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	05/06/2012	Amistar 0.37l	Azoxystrobine	31/05/2012				
	Casper 150 g	Prosulfuron et Dicamba	05/06/2012							
2013	Isard 0.8L	Dimethenamid-p	24/04/2013	TS : fludioxonil + métalaxyl M + thirame		24/04/2013	Belem 0.8mg - 12kg	Cyperméthrine	24/04/2013	
	Adengo 1.5L	Isoxaflutole et Thiencarbazone-méthyl et Cyprosulfamide	24/04/2013				TS : Cruiser	Thiamethoxam		
	Dicavel 480; 0.4L	Dicamba	10/06/2013						24/04/2013	
	Milagro 0.5L	Nicosulfuron	14/06/2013	Amistar 0.58l	Azoxystrobine	11/06/2013				
	Casper 100g	Prosulfuron et Dicamba	21/06/2013							
	Milagro 0.5L	Nicosulfuron	21/06/2013							
2014	Isard 0.8L	Dimethenamid-p	11/04/2014	TS : fludioxonil + métalaxyl M + thirame		10/04/2014	Belem 0.8mg - 12kg	Cyperméthrine	10/04/2014	
	Adengo 1.5L	Isoxaflutole et Thiencarbazone-méthyl et Cyprosulfamide	11/04/2014							
				Amistar 1l	Azoxystrobine	26/05/2014				

# Non Labour – monoculture de maïs

Culture	Herbicide			Fongicide			Insecticide		
	Produit Commercial	Matiere active	Date	Produit Commercial	Matiere active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date
2005	Trophée 3.5 l	Acétochlore	14/04/2005						
	Mikado 0.5 l	Sulcotrione	19/05/2005						
2006	Pratiko 7 l	Glyphosate	15/11/2005						
	Trophée 3.5 l	Acétochlore	26/04/2006						
	Mikado 0.5 l	Sulcotrione	17/05/2006						
	Milagro 1.25 l	Nicosulfuron	17/05/2006						
	Milagro 0.25l	Nicosulfuron	06/06/2006						
2007	Trophée 3.5 l	Acétochlore	20/04/2007						
	Milagro 0.75 l	Nicosulfuron	11/05/2007						
	Callisto 0.5 l	Mésotrione	11/05/2007						
	Eclat 0.1 kg	Bromoxynil ester octanoïque	11/05/2007						
2008	Kart 0.9 l	Florasulam et fluoxyppy	22/05/2007						
	Kart 0.3 l	Florasulam et fluoxyppy	30/05/2008						
2008	Trophée 3.5 l	Acétochlore	05/05/2008	TS : fludoxionil + métalaxyl M + thirame.		02/05/2008	Force 1.5 G 11.6 kg	Téfluthrine	02/05/2008
	Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	05/05/2008				Cytrhine L 0.75 l	Cyperméthrine	17/06/2008
	Callisto 0.5 l	Mésotrione	05/05/2008				Décis expert 2 x 0.125 l	Deltaméthrine	04/07/2008
	Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	23/05/2008						06/08/2008
2009	Trophée 3.5 l	Acétochlore	23/04/2009	TS : fludoxionil + métalaxyl M + thirame.		20/04/2009	Force 1.5 G 11.6 kg	Téfluthrine	20/04/2009
	Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	06/05/2009				Cytrhine L 0.75 l	Cyperméthrine	12/06/2009
	Callisto 0.3 l	Mésotrione	06/05/2009				Décis protech 2 x 1.33 l	Deltaméthrine	30/06/2009
	Emblem 0.4 kg	Bromoxynil ester octanoïque	06/05/2009	Amistar 1l	Azoxystrobine	06/05/2009			20/07/2009
	Milagro 0.5 l	Nicosulfuron	18/05/2009						
2010	Cursus 20 g	Rimsulfuron	29/05/2009						
	Trend 0.10 l	Alcool isodecylrique ethoxyle	29/05/2009						
	Trophée 3.5 l	Acétochlore	16/04/2010	TS : fludoxionil + métalaxyl M + thirame.		14/04/2010			
	Milagro 0.3 l	Nicosulfuron	27/04/2010						
	Cursus 20 g	Rimsulfuron	03/05/2010						
	Trend 0.20 l	Alcool isodecylrique ethoxyle	03/05/2010						
	Cursus 20 g	Rimsulfuron	28/05/2010						
	Trend 0.20 l	Alcool isodecylrique ethoxyle	28/05/2010						
	Kart 0.3 l	Florasulam et fluoxyppy	07/06/2010						
	2011	Cursus 30 g	Rimsulfuron	27/04/2011	TS : fludoxionil + métalaxyl M + thirame.		13/04/2011	Force 1.5 G 11.7 kg	Téfluthrine
Trend 0.2 l		Alcool isodecylrique ethoxyle	27/04/2011						
Callisto 0.2 l		Mésotrione	05/05/2011	Amistar 0.38 l/ha	Azoxystrobine	11/05/2011			
Ritmic 0.5 l		Nicosulfuron	05/05/2011						
Cadelli 0.20 l		Bromoxynil ester octanoïque	05/05/2011						
Callisto 0.50 l		Mésotrione	18/05/2011						
Ritmic 0.50 l		Nicosulfuron	18/05/2011						
Cadelli 0.20 l		Bromoxynil ester octanoïque	18/05/2011						
2012	Ritmic 0.50 l	Nicosulfuron	25/05/2011						
	Trophée 4 l	Acétochlore	07/05/2012	TS : fludoxionil + métalaxyl M + thirame.		03/05/2012	Belem à 0.8 mg 12kg	Cyperméthrine	03/05/2012
	Ritmic 0.75l	Nicosulfuron	16/05/2012						
	Cadeli 0.3l	Bromoxynil ester octanoïque	16/05/2012	Amistar 0.37l	Azoxystrobine	31/05/2012			
	Cursus 40g	Rimsulfuron	05/06/2012						
	Trend 0.2l	Alcool isodecylrique ethoxyle	05/06/2012						
	Mikado 0.5l	Sulcotrione	05/06/2012						
	Milagro 0.75l	Nicosulfuron	21/06/2012						
	Mikado 0.5l	Sulcotrione	21/06/2012						
	Cadeli 0.2l	Bromoxynil ester octanoïque	21/06/2012						
2013	Trophée 4L	Acétochlore	25/04/2013	TS : fludoxionil + métalaxyl M + thirame.		25/04/2013	Belem à 0.8 mg 12kg	Cyperméthrine	24/04/2013
	Mikado 0.5L	Sulcotrione	07/06/2013				TS : Cruiser	Thiamethoxam	24/04/2013
	Milagro 0.75 l	Nicosulfuron	07/06/2013	Amistar 0.58l	Azoxystrobine	11/06/2013			
	Cadeli 0.3L	Bromoxynil ester octanoïque	07/06/2013						
	Milagro 0.5L	Nicosulfuron	21/06/2013						
2014	Cursus 60g	Rimsulfuron	26/06/2013						
	Héliosol 1l	Alcools terpeniques	26/06/2013						
	Aliséo Gold 1.6l	Benoxacor et S-Metolachlor	10/04/2014	TS : fludoxionil + métalaxyl M + thirame.		10/04/2014	Belem à 0.8 mg 12kg	Cyperméthrine	10/04/2014
	Milagro 1 l	Nicosulfuron	30/04/2014						
	Callisto 0.5l	Mésotrione	12/05/2014	Amistar 1l	Azoxystrobine	26/05/2014			
2014	Cadeli 0.3l	Bromoxynil ester octanoïque	12/05/2014						
	Milagro 0.5L	Nicosulfuron	12/05/2014						

## Economique – Coupure monoculture – monoculture de maïs

Culture	Herbicide			Fongicide			Insecticide		
	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date
2005	Stake 3.5 l Mikado 0.5 l	Alachlore Sulcotrione	14/05/2005 12/05/2005						
2006	Pratiko 7 l Stake 3.5 l Mikado 0.5 l Milagro 1.25 Milagro 0.25	Glyphosate Alachlore Sulcotrione Nicosulfuron Nicosulfuron	15/11/2005 26/04/2005 17/05/2006 17/05/2006 06/06/2006						
2007	Dual Gold 1.3 l Callisto 0.5 l Eclat 0.1 kg Banvel 0.4 Banvel0.2 l	S-Metolachlor Mésotrione Bromoxynil ester octanoïque Dicamba sel de diméthylamine Dicamba sel de diméthylamine	20/04/2007 11/05/2007 11/05/2007 11/05/2007 30/05/2007						
2008	Mais Dual Gold 1.3 l Milagro 0.5 l Callisto 0.5 l Banvel 0.4 Banvel0.2 l	S-Metolachlor Nicosulfuron Mésotrione Dicamba sel de diméthylamine Dicamba sel de diméthylamine	05/05/2008 14/05/2008 14/05/2008 21/05/2008 10/06/2008	TS : fludoxionil+ métalaxyl+ thirame.		02/05/2008	Force 1.5G 11.6 kg Cythrine L 0.75 l Décis expert 2 x 0.125 l	Téfluthrine Cyperméthrine Deltaméthrine	02/05/2008 17/06/2008 04/07/2008 06/08/2008
2009	Dual Gold 1.3 l Milagro 0.5 l Callisto 0.5 l Emblem 0.5 kg Banvel 0.2 l	S-Metolachlor Nicosulfuron Mésotrione Bromoxynil ester octanoïque Dicamba sel de diméthylamine	23/04/2009 12/05/2009 12/05/2009 12/05/2009 29/05/2009	TS : fludoxionil+ métalaxyl+ thirame.		20/04/2009	Force 1.5 G 11.6 kg Cythrine L 0.75 l 1.33 l	Téfluthrine Cyperméthrine Deltaméthrine	20/04/2009 12/06/2009 30/06/2009 20/07/2009
2010	Dual Gold 1.3 l Milagro 0.5 l Callisto 0.5 l Casper 100 g Casper 100 g	S-Metolachlor Nicosulfuron Mésotrione Prosulfuron et Dicamba Prosulfuron et Dicamba	16/04/2010 21/05/2010 21/05/2010 21/05/2010 04/06/2010	TS : fludoxionil+ métalaxyl+ thirame.		14/04/2010			
2011	Blé Brennus 1.20 l	Bromoxynil octanoate et Diflufénicanil	17/02/2011	TS : Rédigo Bell 0.75 l Pyros 0.70 l Prosaro 0.50 l		21/10/2010 22/04/2011 22/04/2011 12/05/2011			
2012	Trophée 3.5l Callisto 0.5l Milagro 0.5l Cadéli 0.3l	Acétochlore Mésotrione Nicosulfuron Bromoxynil ester octanoïque	07/05/2012 28/05/2012 28/05/2012 28/05/2012	TS : fludoxionil+ métalaxyl+ Amistar 0.37l		04/05/2012 31/05/2012	Belem 12kg	Cyperméthrine	04/05/2012
2013	Mais Dual Gold 1.3l Merlin Flexx 1.7 l Callisto 0.5l Milagro 0.5l Casper 150g Casper 100g	S-Metolachlor Isoxaflutole Mésotrione Nicosulfuron Prosulfuron et Dicamba Prosulfuron et Dicamba	24/04/2013 24/04/2013 07/06/2013 07/06/2013 07/06/2013 21/06/2013	TS : fludoxionil+ métalaxyl+ Amistar 0.58l	Azoxystrobine	24/04/2013 11/06/2013	TS : Cruiser	Thiamethoxam	24/04/2013
2014	Mais Adengo 1.5l Merlin Flexx 1.7 l Callisto 0.5l Milagro 0.5l Cadéli 0.3l Banvel 0.4l Banvel 0.2l	Isoxaflutole et Thiencarbazone- methyl et Cyprosulfamide Isoxaflutole Mésotrione Nicosulfuron Bromoxynil ester octanoïque Dicamba sel de diméthylamine Dicamba sel de diméthylamine	11/04/2014 11/04/2014 12/05/2014 12/05/2014 12/05/2014 21/05/2014 06/06/2014	TS : fludoxionil+ métalaxyl+ thirame. Amistar 1l	Azoxystrobine	10/04/2014 26/05/2014	Belem à 0.8 mg 12kç	Cyperméthrine	10/04/2014

## Faible Pression d'Intrants – monoculture de maïs

Culture	Herbicide			Fongicide			Insecticide			
	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	
2005	Trophée 1.31 l	Acétochlore	13/04/2005							
	Lagon 0.38 l	adonifène et isoxaflutole	13/04/2005							
2006	Pratiko 7 l	Glyphosate	15/11/2005							
	Trophée 1.31 l	Acétochlore	25/04/2006							
	Lagon 0.22 l	adonifène et isoxaflutole	25/04/2006							
	Milagro 1.25 l	Nicosulfuron	17/05/2006							
	Milagro 0.25 l	Nicosulfuron	06/06/2008							
2007	Trophée 1.31 l	Acétochlore	17/04/2007							
	Lagon 0.22 l	adonifène et isoxaflutole	17/04/2007							
2008	Trophée 1.31 l	Acétochlore	02/05/2008	TS : fludoxionil + métalaxyl + thirame.		02/05/2008	Force 1.5 G 11.6 kg	Téfluthrine	02/05/2008	
	Lagon 0.22 l	adonifène et isoxaflutole	02/05/2008					Cytrine L 0.75 l	Cyperméthrine	17/06/2008
							Décis expert 2 x 0.125 l	Deltaméthrine	04-07/2008 - 06/08/2008	
2009	Trophée 1.31 l	Acétochlore	20/04/2009	TS : fludoxionil + métalaxyl + thirame.		20/04/2009	Force 1.5 G 11.6 kg	Téfluthrine	20/04/2009	
	Lagon 0.22 l	adonifène et isoxaflutole	20/04/2009					Cytrine L 0.75 l	Cyperméthrine	12/06/2009
				Amistar 1 l	Azoxystrobine	06/07/2009	Décis protech 2 x 1.33 l	Deltaméthrine	30/06/2009 - 20/07/2009	
2010	Trophée 1.31 l	Acétochlore	14/04/2010	TS : fludoxionil + métalaxyl + thirame.		14/04/2010				
	Lagon 0.23 l	adonifène et isoxaflutole	14/04/2010							
	Callisto 0.28 l	Mésotrione	20/05/2010							
	Milagro 0.19 l	Nicosulfuron	20/05/2010							
	Peak 2.2 g	Prosulfuron et Dicamba	20/05/2010							
2011	Camix 1.31 l	S-Metolachlor et mésotrione et benoxacor	14/04/2011	TS : fludoxionil + métalaxyl + thirame.		14/04/2011	Force 1.5 G 11.7 kg	Téfluthrine	14/04/2011	
	Lagon 0.23 l	adonifène et isoxaflutole	14/04/2011							
	Callisto 0.08 l	Mésotrione	02/05/2011							
	Cadelli 0.04 l	Bromoxynil ester octanoïque	02/05/2011		Amistar 0.38 l/ha	Azoxystrobine		11/05/2011		
	Callisto 0.08 l	Mésotrione	11/05/2011							
	Cadelli 0.04 l	Bromoxynil ester octanoïque	11/05/2011							
2012	Camix 1.31 l	S-Metolachlor et mésotrione et benoxacor	04/05/2012	TS : fludoxionil + métalaxyl + thirame.		04/05/2012	Belem à 0.8mg	Cyperméthrine	04/05/2012	
	Lagon 0.23 l	adonifène et isoxaflutole	04/05/2012		Amistar 0.38 l/ha	Azoxystrobine				31/05/2012
2013	Camix + 1.4 l	S-Metolachlor et mésotrione et benoxacor	24/04/2013	TS : fludoxionil + métalaxyl + thirame.		24/04/2013				
	Merlin Flexx 0.64 l	Isoxaflutole	24/04/2013							
	Callisto 0.28 l	Mésotrione	21/06/2013		Amistar 0.58 l/ha	Azoxystrobine	11/06/2013			
	Cadeli 0.11 l	Bromoxynil ester octanoïque	21/06/2013							
2014	Camix + 1.31 l	S-Metolachlor et mésotrione et benoxacor	10/04/2014	TS : fludoxionil + métalaxyl + thirame.		10/04/2014	Belem à 0.8 mg 12kg	Cyperméthrine	10/04/2014	
	Merlin Flexx 0.64 l	Isoxaflutole	10/04/2014		Amistar 1l/ha	Azoxystrobine				26/05/2014

## Couvert permanent

	Culture	Herbicide			Fongicide			Insecticide					
		Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date	Produit Commercial	Matière active	Date			
2005	Mais	Stake 3.5 l Emblem 2 kg	Alachlore Bromoxynil ester octanoïque	14/04/2005 12/05/2007									
2006	Pois	Nikeyl 3 l	Aclonifen et Flurtamone	07/03/2006	Fungistop 3 x 2 l	Chlorothalonil	17/05/2006 - 30/05/2006 - 09/06/2006	Split protech 0.42 l	Deltamethrine	12/04/2006	Enduro 0.4 l	Bétacyfluthrine Oxydéméton-méthyl	17/05/2006
2007	Mélanges graminées (starcover)	Ormond 6 l U 46 D 1.75 l	Glyphosate 2,4-D sel de diméthylamine	20/07/2006 07/06/2007									
2008		Aucun produit appliqué en 2008											
2009		Aucun produit appliqué en 2009											
2010		Aucun produit appliqué en 2010											
2011		Aucun produit appliqué en 2011											
2012		Aucun produit appliqué en 2012											
2013		Aucun produit appliqué en 2013											
2014		Aucun produit appliqué en 2014											

## Annexe 12 : Tableau récapitulatif des données récoltées pour chaque lysimètre de l'essai

			nb d'échantillons	Cumul percolats (en L)	Cumul flux d'azote (en kgN/ha)	Médiane percolats (en L)	Médiane flux d'azote (en kgN/ha)	Médiane teneur en nitrate pondérée (en mg/L)	
Rotation quadriennale	Parcelle 1	REF 1	L 01	162	3319.5	409.5	13.1	1.3	37.7
			L 02	156	3074.3	438.4	13.2	1.2	39.9
		CSOL 1	L 03	160	3109.5	202.7	13.0	0.6	19.9
			L 04	158	3134.4	202.3	11.7	0.5	21.2
	Parcelle 2	REF 2	L 05	133	2249.0	360.8	9.7	1.5	60.6
			L 06	139	2825.3	479.9	12.3	2.1	58.8
		CSOL 2	L 07	127	2987.1	374.7	12.4	1.3	39.8
			L 08	131	3284.9	462.8	14.8	1.8	42.3
	Parcelle 3	REF 3	L 09	138	3026.8	555.4	12.8	2.5	54.7
			L 10	148	4236.8	797.2	19.9	3.4	58.7
		CSOL 3	L 11	126	2342.7	260.4	8.5	1.1	36.6
			L 12	124	2497.4	324.9	10.2	1.4	41.9
	Parcelle 4	REF 4	L 13	138	3113.7	387.3	13.3	1.6	38.7
			L 14	130	2263.8	282.8	9.9	1.3	42.6
		CSOL 4	L 15	110	2203.1	121.2	9.2	0.7	24.0
			L 16	120	2005.4	139.8	8.5	0.6	25.6
Monoculture de maïs	ECO-CM	L 17	170	3259.1	292.7	13.4	1.0	31.2	
		L 18	170	3284.4	370.1	13.3	1.3	37.3	
	FPI	L 19	176	2905.5	224.6	11.5	0.9	32.3	
		L 20	144	2055.0	156.5	7.8	0.6	27.0	
	NL	L 21	154	2876.7	345.2	12.2	1.3	40.5	
		L 22	170	3686.8	444.9	15.1	1.7	42.1	
	REF	L 23	156	2757.3	387.0	11.3	1.6	54.5	
		L 24	182	3360.4	571.3	12.3	2.1	64.1	
Couvert permanent	L 25	70	1683.1	64.3	7.1	0.1	2.4		
	L 26	20	565.5	15.4	0.0	0.0	0.3		

## BIBLIOGRAPHIE

L. Gourcy, N. Baran, A Gutierrez, T. Kinka, N. Mouloudi, B. Lopez, F. Levillon (2012) – Evaluation d'outils et de méthodes potentiellement applicables dans l'étude du transfert de l'eau et solutés en milieu hétérogènes. Rapport BRGM/RP-61848-FR. 75p.

J. Albertin, L. Simonot, J. Weill (2016) – Gestion des eaux pluviales de la ZI de Meyzieu-Jonage : création d'un bassin de décantation des eaux pluviales de la ZI de Meyzieu. ARTELIA Agence de l'eau & Grand Lyon – Direction de l'eau. 4 15 2262. 175p.

Sidoli Pauline, Nicole Baran, Angulo-Jaramillo Rafael, Lassabatère Laurent. Etude en colonne non-saturée du transfert du S-métolachlore et de ses métabolites dans un matériau fluvio-glaciaire. Congrès du groupe français des pesticides, May 2015, Versailles, France.

Y. Crozat, D. Plénet (28 sept. 1979) – Caractéristiques hydriques d'un sol d'alluvions glaciaires du Bas-Dauphiné. Mémoire de fin d'études. ISARA – CREAS – ITCF.

Hervé PIATON, Jean-Pierre BILLOUD, Carole GUILLAIN (2007) – Agreste Rhône-Alpes – coup d'œil : Enquête terres labourables 2006 – Principaux résultats. AGRESTE. ISSN : 1150-1987

WAZZANI, M. (2014). Dissipation de trois pesticides dans deux contextes pédologiques différents. (Dissipation of three pesticides in two different soil environments) (Mémoire, PRES Sorbonne Paris Cité, FRA, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), FRA, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, FRA). <http://prodinra.inra.fr/record/2699>