



13 av. des Droits de l'Homme
45921 Orléans Cedex 9
Tél : 02 38 71 90 61
Fax : 02 38 71 90 90
Email : seal@loiret.chambagri.fr

Estimation de la teneur en Nitrate de l'eau s'infiltrant à partir d'un échantillon de parcelles situées en zone vulnérable sur le périmètre du Sage de Beauce. Hiver 2011 2012

Chambre d'Agriculture du Loiret
Service Agronomie Environnement Productions Végétales

Réalisation : Bernard Verbeque CA45
Francis Golaz CA28
Avec la participation de : C Goussault CA41
L Sablier CA IDF
L Proffit CA 77
N. Renoux CRAC

Sept 2012

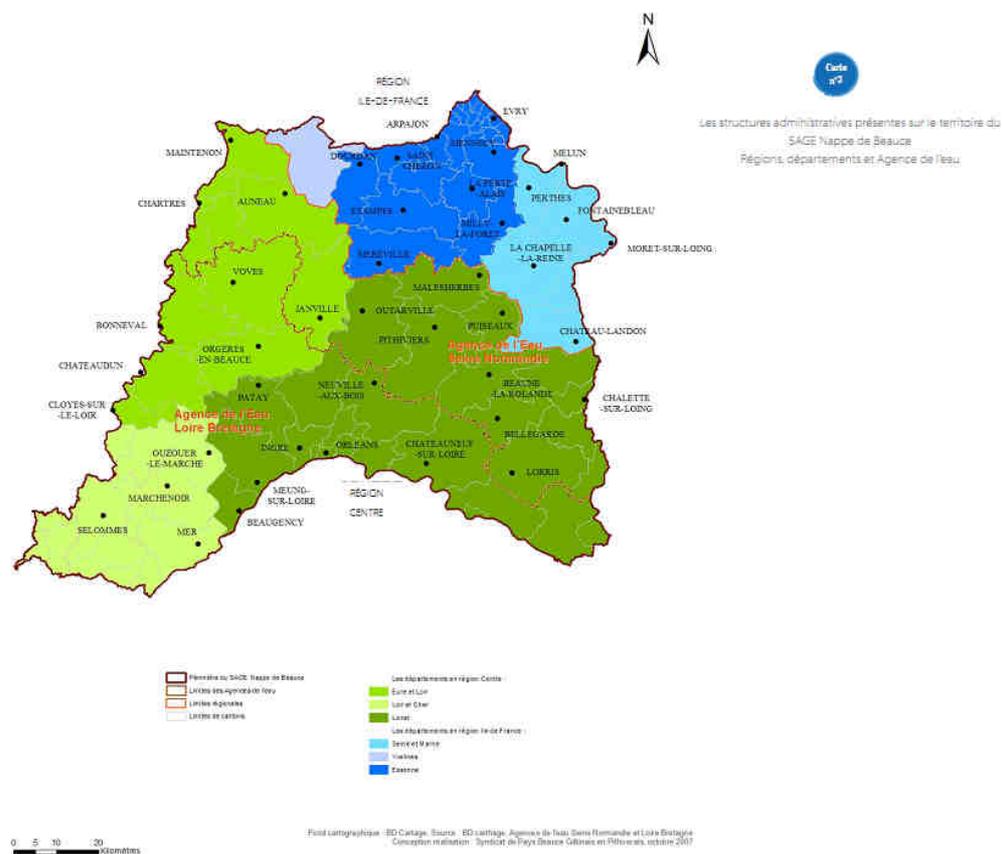
sommaire

Introduction	3
1. Description de l'échantillon	4
1. 1. Matrice d'échantillonnage de départ	4
1. 2. Dates de prélèvement.....	4
1. 3. Cartographie	5
1. 4. Matrice d'échantillonnage finale	5
1. 4. 1. Comparaison sur les précédents	5
1. 4. 2. Comparaison sur les cultures en place	6
1. 4. 3. Répartition cultures/Précédents :.....	7
1. 5. Une diversité de sol.....	7
1. 6. Occupation du sol à l'automne 2011	8
1. 7. Mesures de reliquats sur les cultures 2011	9
1. 8. Présence de produits organiques.....	9
1. 9. Irrigation du précédent.....	10
1. 10. Devenir des résidus de récolte	10
2. Météo de l'année	11
3. Reliquats entrée hiver	13
3. 1. Comparaison avec le bilan entrée-sortie de la culture précédente, par précédents	13
3. 1. 1. Précédent betterave sucrière.....	14
3. 1. 2. Précédent Maïs grain	14
3. 1. 3. Tournesol	15
3. 1. 4. Précédent colza	15
3. 1. 5. Précédents blé tendre.....	16
3. 1. 6. Blé tendre améliorant et blé dur	17
3. 1. 7. Précédent Orge d'hiver, Orge de printemps.....	17
3. 1. 8. Pomme de terre.....	18
3. 1. 9. Précédent Pois.....	18
3. 1. 10. Moyennes par précédents	18
3. 2. Culture 2012 colza	19
3. 3. Comparaison avec le bilan entrée sortie de la culture précédente par type de sols.....	20
3. 4. Comparaison Bilan CORPEN et reliquat entrée hiver, effet de la couverture automnale.....	20
4. Reliquats sortie hiver (RSH) :.....	21
5. Calcul de lessivage en période hivernale (modèle de Burns) :.....	22
5. 1. Approche Théorique	22
5. 2. Synthèse des résultats du modèle de lessivage.....	26
5. 3. Simulation d'une lame drainante croissante :.....	28
5. 4. Comparaison teneur en Nitrate de la solution du sol en entrée d'hiver et de la teneur estimée de l'eau percolant vers la nappe.	28
6. Limites de validité et améliorations possibles	30
7. ANNEXES :	31

Introduction

La Nappe de Beauce s'étend sur 6 départements.

La grande majorité est une Nappe libre qui est fortement impactée par les fuites de nitrates. Seule la Nappe captive sous la forêt d'Orléans en est indemne



Dans le cadre de la mise en place du SAGE Nappe de Beauce le syndicat du Pays de Beauce Gâtinais en Pithiverais Pays du Gâtinais structure porteuse du SAGE, a décidé de mettre en place un observatoire de la qualité des eaux s'infiltrant vers la Nappe depuis les terrains agricoles.

Cette mission a été confiée après appel d'offre aux chambres d'agricultures présentes sur ces territoires :

- La Chambre régionale de la région centre,
- Les chambres départementales d'Eure et loir, du Loiret, du Loir et Cher, d'île de France englobant l'Essonne et les Yvelines, et de la Seine et Marne.

Cet observatoire a été mis en place pendant l'hiver 2011-2012, avec un objectif de 100 parcelles suivies.

1. Description de l'échantillon

1. 1. Matrice d'échantillonnage de départ

Afin d'avoir un échantillon représentatif des cultures présentes sur le territoire, une matrice d'échantillonnage a été construite à partir du pourcentage des cultures présentes sur chaque partie de territoire concerné dans chaque département (statistiques de la DRAAF dans le cadre du dernier RGA). Le suivi portant sur l'hiver suivant une culture, cette matrice a donc été bâtie sur les précédents.

Les bases de données générées par les campagnes de mesures de reliquats azotés réalisées chaque année par les chambres d'agriculture des départements concernés ont été utilisées pour constituer l'observatoire en respectant au mieux la matrice. Il n'a pas été retenu de parcelles recevant régulièrement des produits organiques, l'élevage n'étant pas une pratique courante dans cette zone.

Définition de l'échantillon souhaité (version du 25 novembre 2011)

département	Blé tendre		Blé dur		Orge d'hiver-escourgeon		Orge de printemps		Maïs grain et semence		Colza		Tournesol	Poïs protéagineux		Betterave industrielle		Pommes de terre		Σ
	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué		
Eure-et-Loir	8	3	3	3	1		1	1	1	2	4	-	-	1	1	-	1	-	1	31
Loir-et-Cher	3	1	3	2	1		-	-	-	1	3	-	1	-	1	-	-	-	-	16
Loiret	7	4	1	3	2		2	3	-	2	2	1	1	-	-	-	3	-	1	32
Seine-et-Marne	2	-	-	-	-		1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	7
Yvelines	1	-	-	-	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Essonne	5	1	1	-	-		1	-	-	-	2	-	-	1	-	1	-	-	-	12
Σ	26	9	8	8	5		5	5	1	5	12	1	2	2	2	2	5	-	2	100
Total	35		16		5		10		6		13		2	4		7		2		100

Attention : Le choix d'une telle matrice permet d'approcher la diversité des situations culturelles. Cependant le faible nombre de parcelle constituant l'observatoire (100 parcelles pour plusieurs centaines de milliers d'hectares cultivés) fragilise les chiffres : toute comparaison entre culture doit tenir compte du nombre de parcelles, souvent faible, ayant servi à calculer les moyennes considérées.

1. 2. Dates de prélèvement

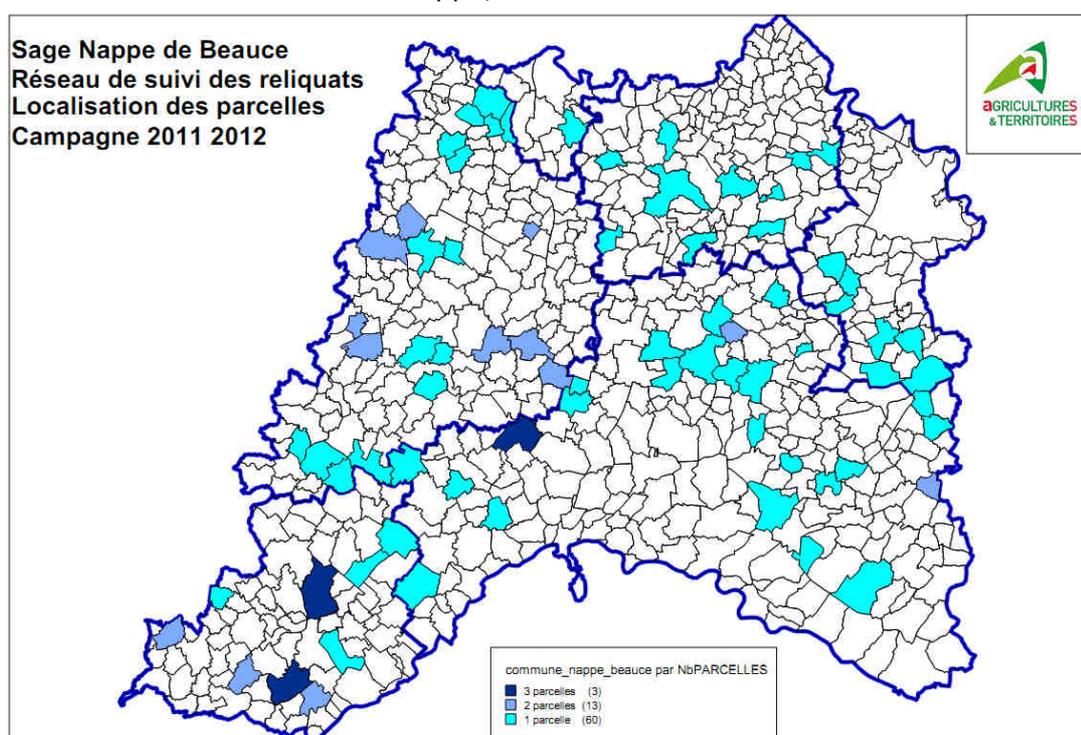
Après plusieurs modifications, la matrice finale n'a été fournie que le 25 novembre. Les prélèvements des reliquats entrée d'hiver (REH) ont donc commencé tardivement. Le gel de début février a perturbé quant à lui les prélèvements des reliquats sortie d'hiver (RSH) dans certains secteurs car les préleveurs sur quad ont du cesser les prélèvements.

L'étalement des dates de prélèvement a été le suivant :

Département	Prélèvements entrée hiver		Prélèvements sortie hiver	
	Début	Fin	Début	Fin
Eure et Loir	30 Nov.	1 Déc.	4 Mars	5 Mars
Loir-et-Cher	2 Déc.		1 Fév.	
Loiret	30 Nov	20 Déc.	18 Janv.	3 Fév.
Seine-et-Marne	12 Déc		8 Fév.	
Ile de France	30 Nov		2 Fév.	

1. 3. Cartographie

Les parcelles repérées par coordonnées GPS (WGS 84) ont été réparties sur l'ensemble du territoire de la Nappe, comme le montre cette carte.



1. 4. Matrice d'échantillonnage finale

1. 4. 1. Comparaison sur les précédents

Echantillon réel : précédents culturaux des parcelles retenues (récolte 2011)

département	Blé tendre		Blé dur		Orge d'hiver-escourgeon		Orge de printemps		Orge de printemps		Maïs grain et semence		Maïs grain et semence		Colza		Colza		Tournesol	Pois protéagineux		Pois protéagineux		Betterave industrielle		Betterave industrielle		Pommes de terre		Total
	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué		
Eure-et-Loir	8	3	3	2				5			4		4					1	1					1			1	33		
Loir-et-Cher	3	1	2	3	1						1		3					1		1							1	16		
Loiret	11		2	2				3	3			2		3										3		1	31			
Seine-et-Marne	1	2						2	-				1										1				7			
Yvelines						1							1														2			
Essonne	1			1	1		1	1					2									2	1			1	10			
Total	24	6	7	8	1	1	6	9			7	7	14					2	1	2			3	5	1	1	99			
Total	30	6	15		3		15			7		14					2	3			8		5		2		99			

Différence échantillon réel échantillon prévu précédents

département	Blé tendre		Blé dur		Orge d'hiver-escourgeon		Orge de printemps		Orge de printemps		Maïs grain et semence		Maïs grain et semence		Colza		Colza		Tournesol	Pois protéagineux		Pois protéagineux		Betterave industrielle		Betterave industrielle		Pommes de terre		Total
	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué	non irrigué	irrigué		
Eure-et-Loir	-	-	-	-	-	-	-	4	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2		
Loir-et-Cher	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
Loiret	4	-	4	1	-	1	-	2	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-		
Seine-et-Marne	-	1	2	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-		
Yvelines	-	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Essonne	-	4	-	1	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1	-	-		
Total	-	2	-	3	-	1	-	4	1	1	4	-	1	2	2	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-		
Total	-	5	-	3	-	1	-	2	-	5	-	1	-	2	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-		

Deux parcelles ont été prélevées en début d'hiver, mais n'ont pu être prélevé en sortie d'hiver car l'agriculteur avait déjà épandu son azote début mars. Il s'agit en Eure-et-Loir de deux parcelles de blé dur, l'une avec un précédent maïs grain irrigué et l'autre de pois protéagineux irrigués (prises en compte dans ces tableaux).

La matrice prévue a été à peu près respectée. Il y a un peu plus d'orge de printemps et un peu moins de blé, culture déjà fortement représentée.

1. 4. 2. Comparaison sur les cultures en place

Echantillon réel : cultures en place ou prévues sur les parcelles retenues (récolte 2012)

département	Blé tendre	Blé dur	OP semée nov	Orge de printemps	Maïs	Colza	Tournesol	Pois Protéagineux	Betterave sucrière	Pommes de terre	Total
Eure-et-Loir	11	5	1	3	4	4		2	1	2	33
Loir-et-Cher	8	3	1		1	2	1				16
Loiret	9	5		6	1	1	2		7		31
Seine-et-Marne	2			2		1			2		7
Yvelines	1					1					2
Essonne	4	1		2		1		1	1		10
Total	35	14	2	13	6	10	3	3	11	2	99

Différence échantillon réel échantillon prévu culture 2012

département	Blé tendre	Blé dur	OP semée nov	Orge de printemps	Maïs	Colza	Tournesol	Pois Protéagineux	Betterave sucrière	Pommes de terre	Total
Eure-et-Loir	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	2
Loir-et-Cher	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Loiret	-	1	-	1	-	2	1	-	4	-	1
Seine-et-Marne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yvelines	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Essonne	-	2	-	1	-	1	-	-	-	-	-
Total	-	-	2	3	-	3	-	1	4	-	1

La structure globale de l'échantillonnage est aussi respectée.

1. 4. 3. Répartition cultures/Précédents :

Précédent_2011	Culture_2012									Total
	Blé dur d'hiver	Blé tendre d'hiver	Betterave sucrière	Pommes de terre	Maïs grain ou doux	Colza d'hiver	Orge de printemps	Pois Protéagineux	Tourne sol	
Tournesol		2								2
Betterave sucrière	3	5								8
Pois Protéagineux	1	1								2
Pommes de terre	1	1								2
Maïs grain	1	5								6
Colza d'hiver	4	10								14
Blé dur d'hiver	2	2	2		2	3	4			15
Blé tendre d'hiver		9	4	2	2	2	7			26
Orge de printemps			5		2	4		2	2	15
Blé tendre améliorant							3	1		4
Orge d'hiver						1			1	2
Triticale							1			1
Total	12	35	11	2	6	10	15	3	3	97

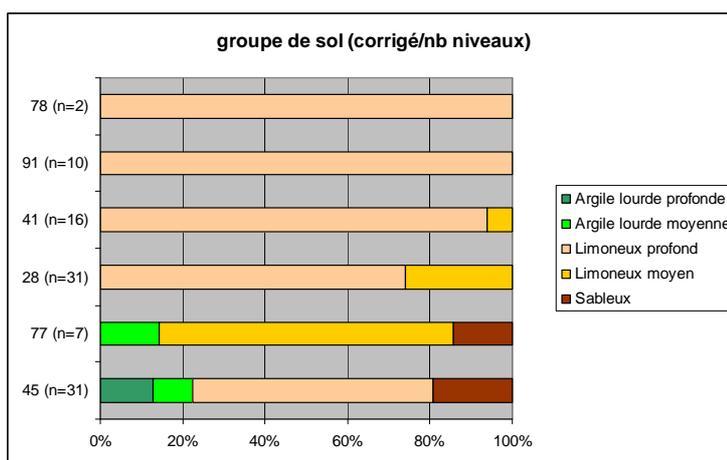
Cette répartition est caractéristique des rotations locales sur 2 ans, alternant une céréale à paille avec une autre culture.

1. 5. Une diversité de sol

Sol	Départements						Total
	28	41	45	77	78	91	
Argile lourde profonde			1				1
Argile lourde calcaire profonde			1				1
Argilo-calcaire profond					1		1
Argile limoneuse profonde			4				4
Limon argileux sain profond	4	7	8		1	7	27
Limon sain profond	7	3				2	12
Argile lourde calcaire moyennement profonde			2				2
Argilo-calcaire moyennement profond	2	1	1	3		1	8
Sable-argilo- calcaire moyennement profond			1				1
Argilo-limoneux moyennement profond			4				4
Limon argileux moyennement profond	17	5		2			24
Argile lourde calcaire superficielle			1				1
Argilo- calcaire superficiel			2	1			3
Limon graveleux	1						1
Argile sableuse			2				2
sable argileux			2	1			3
Sable limoneux profond			1				1
Sable hydromorphe			1				1
Total	31	16	31	7	2	10	97

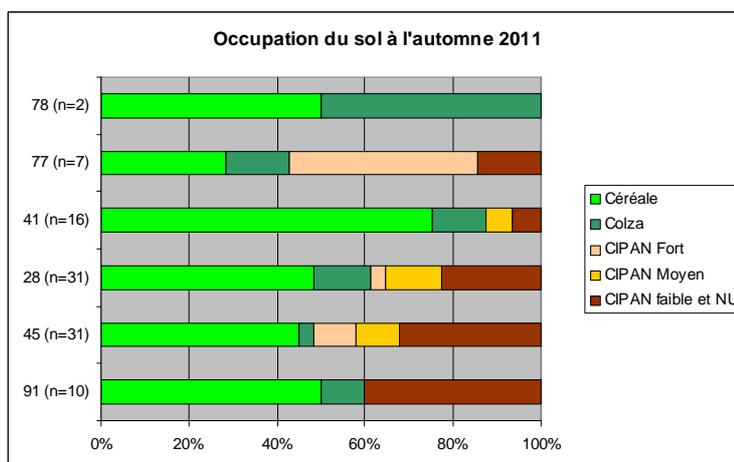
Il y a une diversité de sol ayant des réserves en eau variables. Les sables, sable-limoneux représentatifs de la forêt d'Orléans sont peu représentés, mais les surfaces cultivées y sont faibles. Le nombre de parcelles par type de sol a été choisi à partir des réseaux de reliquats 2011. Il nous manque une cartographie exhaustive des sols de la zone afin de vérifier la bonne représentativité en surface.

Dans le reste de l'étude nous avons simplifié la typologie de sol.



Cet échantillonnage représente bien la diversité de sols présent sur le territoire couvert par la nappe de Beauce avec des sols limoneux plus profond au nord et des sols plus minces au sud, et la forêt d'Orléans plus sableuse.

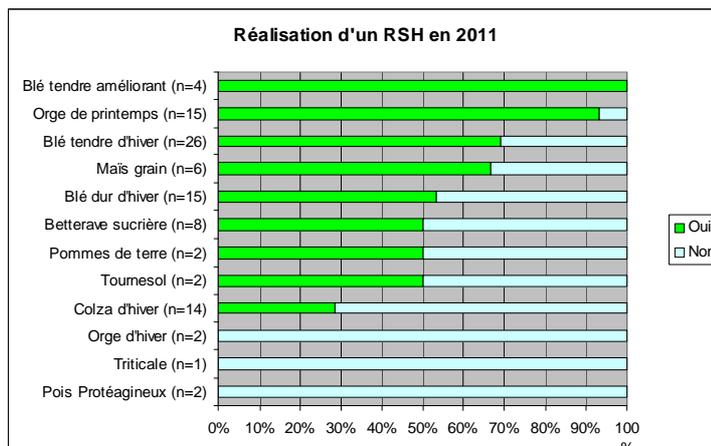
1. 6. Occupation du sol à l'automne 2011



Une majorité de sol sont couvert l'hiver. Seule 12 parcelles sont restées nues l'hiver. 11 portaient un CIPAN avec un développement faible. Les 4^{ème} programmes d'action de la directive nitrates imposaient une couverture sur 80% des sols en intercultures longues.

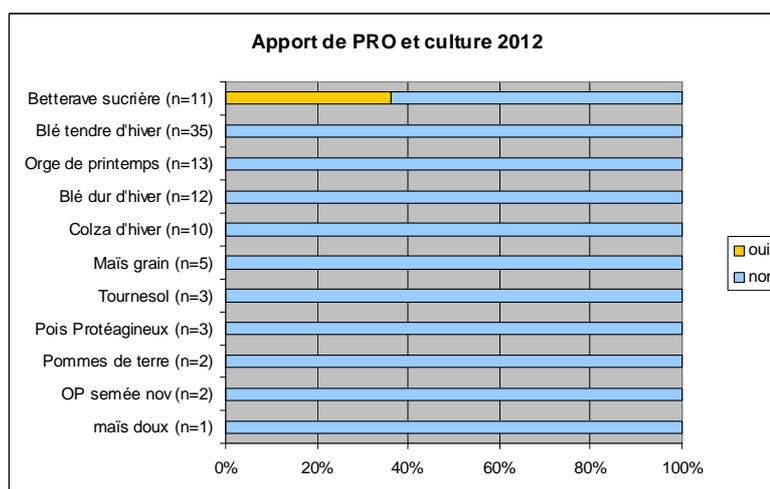
Le niveau de développement du CIPAN a été apprécié par l'agriculteur en trois classes. Nous avons réuni les sols nus et les CIPAN faibles car la différence de couverture de sol n'est pas significative entre un CIPAN ayant un développement faible à nul et un sol nu qui porte toujours une partie de repousse.

1. 7. Mesures de reliquats sur les cultures 2011



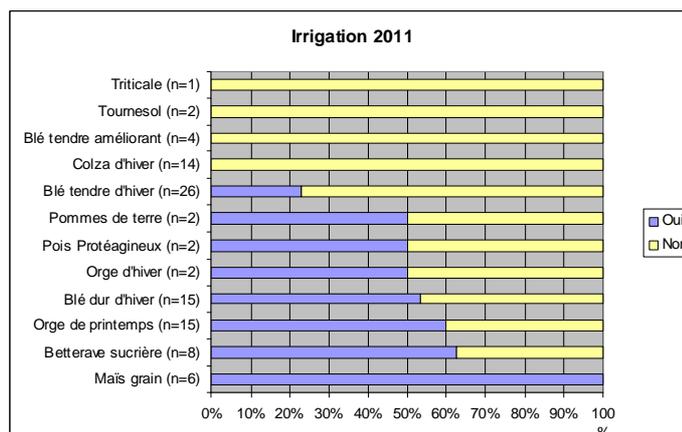
Afin d'être représentatif des situations sur la nappe de Beauce, il n'a pas été fait des reliquats systématiquement sur des parcelles ayant eu une fertilisation ajustée à partir d'un reliquat en janvier 2011. 60% des parcelles ont été analysées en 2011. Les programmes d'action des différents départements imposent de 2 à 3 reliquats par exploitation. Certaines exploitations mesurent ces reliquats sur l'ensemble des parcelles, ces reliquats sont extrapolés aux parcelles semblables de l'exploitation. Sur les départements du 28, 41, 77, 5000 à 7000 parcelles sont analysées chaque année. Ceci permet d'établir des grilles de reliquats moyens par type de sol précédents par département. Ces grilles sont utilisées dans les plans de fumure qui sont obligatoire.

1. 8. Présence de produits organiques



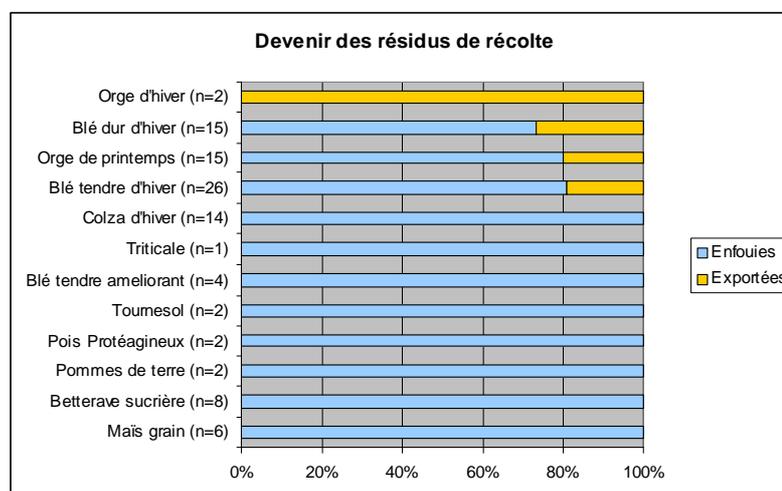
Il n'y a quasiment pas de parcelle ayant reçu des produits organiques. La sole de betterave en a reçu sur 4 parcelles dont de la vinasse sur trois, pratique courante sur cette culture.

1. 9. Irrigation du précédent



L'irrigation est une pratique courante à partir de la nappe de Beauce. Elle agit fortement sur la gestion de l'azote, en permettant d'obtenir le rendement objectif, donc en utilisant mieux l'azote apporté, en augmentant la minéralisation, et en apportant de l'azote minéral. Ces deux postes doivent être intégrés dans le calcul du bilan prévisionnel. Elle peut aussi augmenter, mais ce n'est pas systématique, la réserve en eau du sol en fin de culture avançant ainsi la date de drainage naturel des sols. 37 parcelles ont été irriguées en 2011 ce qui correspond principalement aux cultures de printemps.

1. 10. Devenir des résidus de récolte



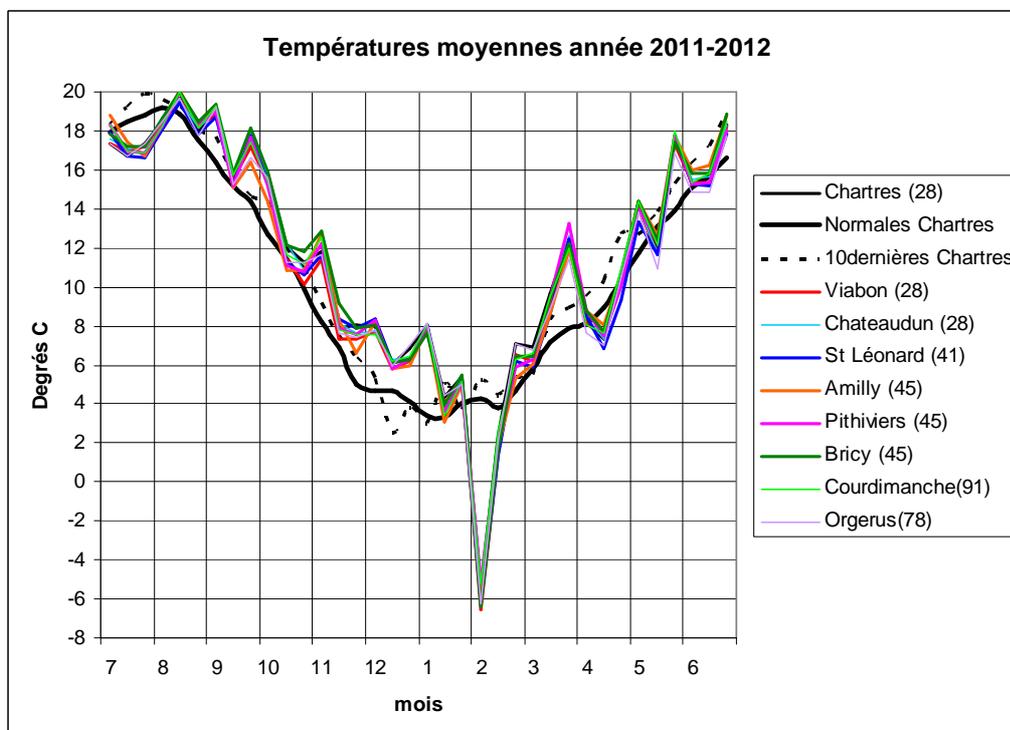
Les résidus de récolte sont majoritairement enfouis, ce qui est représentatif d'une zone essentiellement céréalière. En 2011 il y a eu des opérations de ramassage de pailles pour aider les éleveurs qui souffraient de sécheresse. Seules 14 parcelles ont vu leurs pailles exportées. L'enfouissement des pailles a un effet bénéfique sur le stockage de l'azote. On estime que 20 à 30 kg d'azote sont ainsi réorganisés par les pailles.

2. Météo de l'année

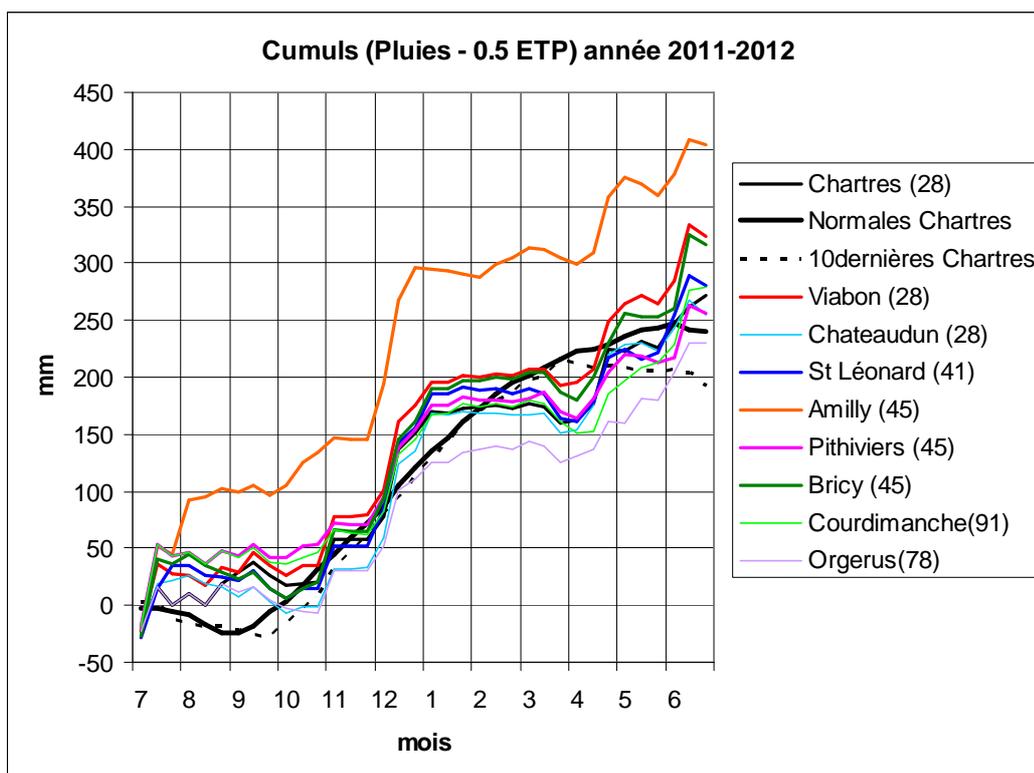
Trois postes météo ont été utilisés dans le Loiret, Bricy, Pithiviers, Amilly. Ces postes ont été utilisés pour la Seine et Marne dont les parcelles sont proches : soit celui d'Amilly, soit celui de Pithiviers. Dans le Loir et Cher le poste de St Leonard en Beauce a été pris. Pour l'Eure et loir ce sont ceux de Chartres, Viabon et Châteaudun. Pour l'île de France celui d'Orgerus (complété par Chartres) pour le 78 et celui de Courdimanche (complété par Pithiviers) pour le 91.

L'été et l'automne 2011 ont été exceptionnellement chaud. La réhumectation des sols ayant été favorable dès les moissons, cela a favorisé une forte minéralisation des sols, ainsi qu'une forte croissance des végétaux. D'où des CIPAN forts, des colzas en sortie d'hiver très forts, ainsi que des blés en avance.

Cette minéralisation se retrouve ainsi dans les reliquats entrée hiver qui sont forts.

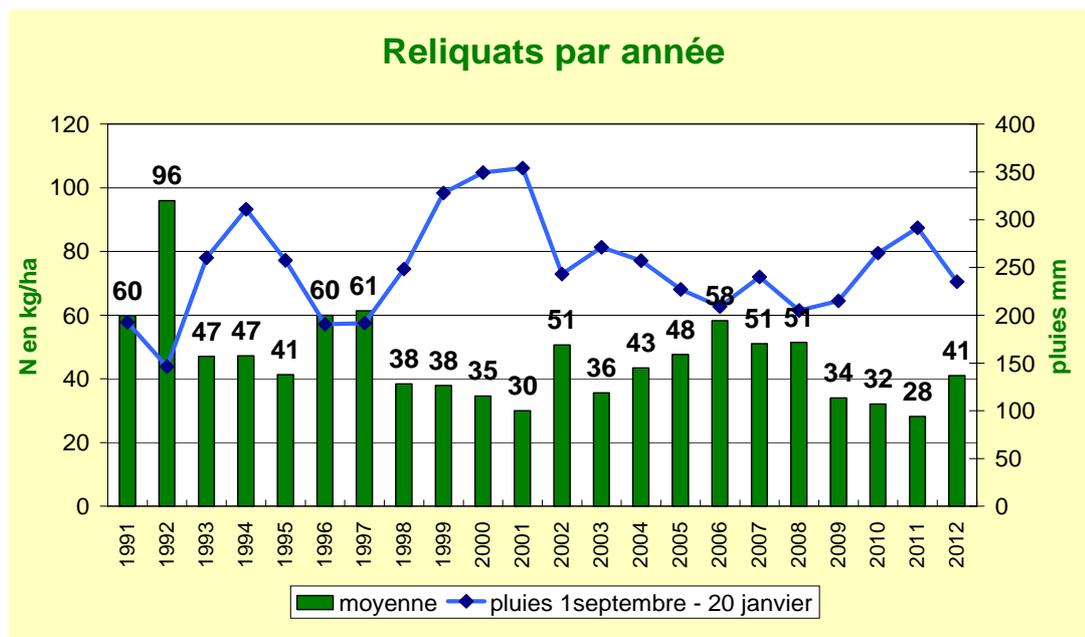


Les températures sont homogènes sur l'ensemble de la zone et globalement plus élevées que la normale. Elles sont même souvent plus élevées que la moyenne des 10 dernières années mesurée à Chartres, notamment en septembre, et de novembre à début janvier. On peut noter que les températures moyennes de mi-novembre à début janvier sont restées de l'ordre de 6 à 8°C. Une minéralisation de l'azote organique du sol et des CIPAN détruits dès Novembre a donc pu se poursuivre pendant l'hiver, générant un surcroît de nitrates dans le premier horizon en sortie d'hiver.



La station d'Amilly a reçu probablement un orage début août : sa courbe de cumul des pluies est donc décalée dès cette date malgré des bilans équivalents par la suite. Nous pouvons constater que ce bilan hydrique simplifié, correspondant aux parcelles de blé en période hivernale ($k=0.5$), est positif dès le mois de juillet. Lors des prélèvements en entrée d'hiver la plupart des réserves en eau des sols ne sont pas encore reconstituées. C'est chose faite avec les pluies abondantes de décembre qui ont donc en partie percolées : recharge de la nappe observable en janvier. Janvier et février sont restés secs et la pluie efficace pour la recharge de la nappe est donc restée modérée.

Notons au passage que le bilan redevient excédentaire fin avril. A cette époque les cultures se développent et le coefficient k tend vers 1. Cependant, en sols nus et sous cultures d'été encore peu développées il y a eu probablement aussi du lessivage tardif en mai-juin.



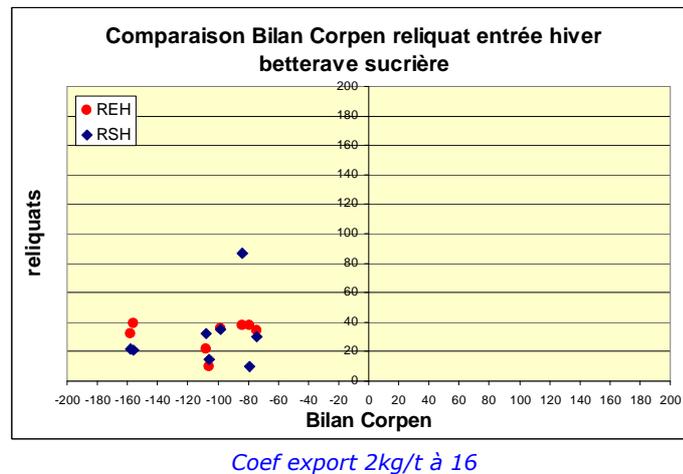
En Eure-et-Loir (graphique ci-dessus : moyennes d'environ 4000 parcelles par an), les RSH 2012 sont à un niveau moyen de 41 kg N /ha. C'est un niveau que l'on peut qualifier de moyen, plus élevé que les trois années précédentes. Nous voyons sur ce graphique que les pluies cumulées d'automne et d'hiver à Chartres sont un peu inférieures à la moyenne interannuelle.

3. Reliquats entrée hiver

3. 1. Comparaison avec le bilan entrée-sortie de la culture précédente, par précédents

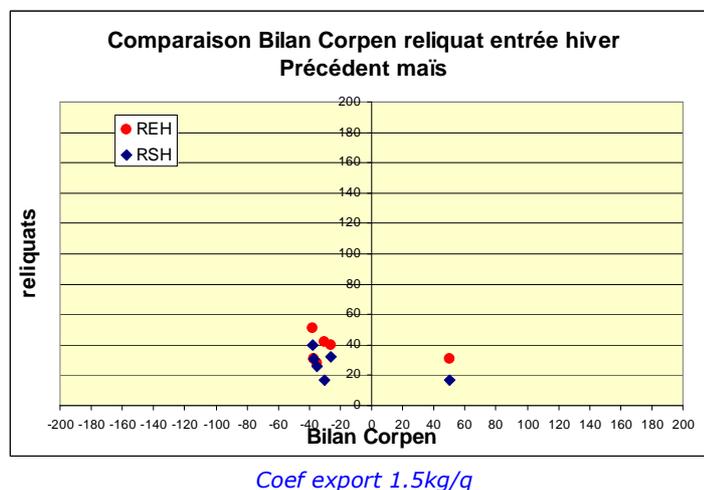
Pour chaque parcelle nous avons fait un bilan entrée-sortie, bilan CORPEN. Pour les entrées nous n'avons compté que les apports d'engrais. Il aurait été préférable de faire un bilan complet en comparant les écarts aux conseils. Ce bilan CORPEN ne prend pas en compte toutes les fournitures du sol. Il défavorise les cultures d'hiver qui n'utilisent qu'une partie de la minéralisation du sol. Il favorise les parcelles où les pailles sont enlevées

3. 1. 1. Précédent betterave sucrière



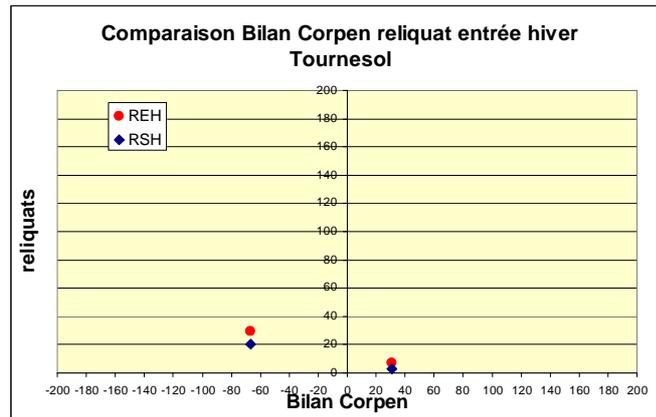
Les reliquats entrés hiver sont tous inférieurs à 40kg par hectare car les bilans CORPEN sont faibles voir très faibles. La betterave valorise bien les fournitures du sol, le besoin est forfaitaire, la récolte est tardive, et la minéralisation d'été est consommée par la plante. En sortie d'hiver une parcelle se distingue c'est la parcelle 28 11 ou la dose d'azote est la plus forte de 180 kg/ha, et le prélèvement sortie hiver tardif. Les feuilles probablement riches en azote on du déjà minéralisées.

3. 1. 2. Précédent Maïs grain



Les bilans CORPEN sont équilibrés ou déficitaires. Les reliquats en entrée d'hiver sont modérés ou faibles. Le Maïs utilise bien l'azote provenant du sol. Il est récolté tard avec des résidus à C/N élevé. Il y a donc peu de minéralisation pendant l'hiver.

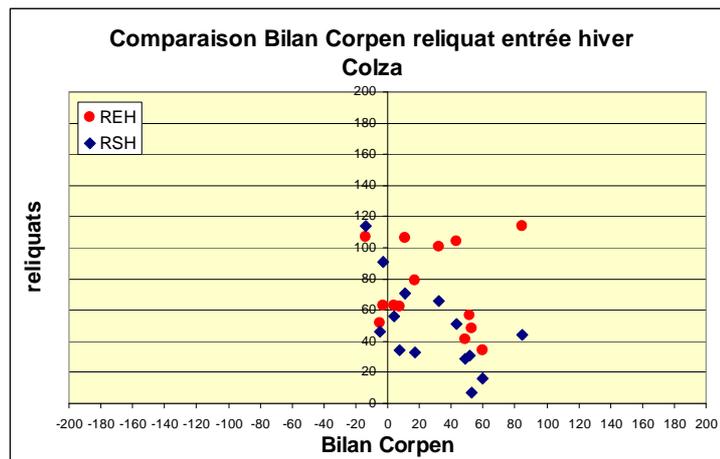
3. 1. 3. Tournesol



Coef export 1.9kg/q

Le tournesol utilise complètement l'azote du sol. Les fertilisations sont faibles. Les résidus sont pauvres en azote, les reliquats azotés en entrée hiver sont faibles.

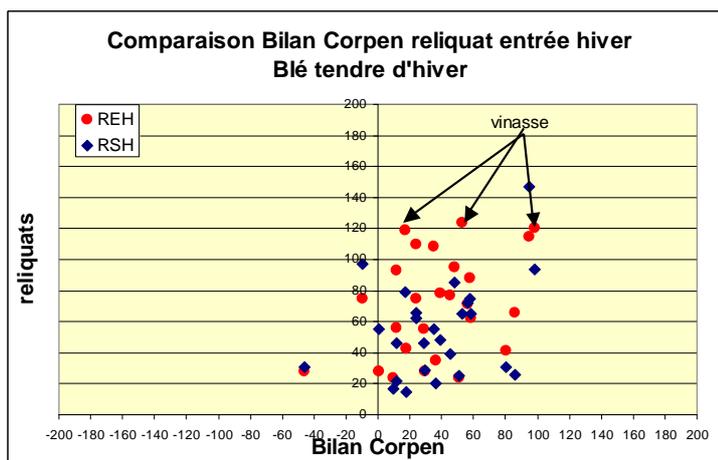
3. 1. 4. Précédent colza



Coef export 3.5kg/q

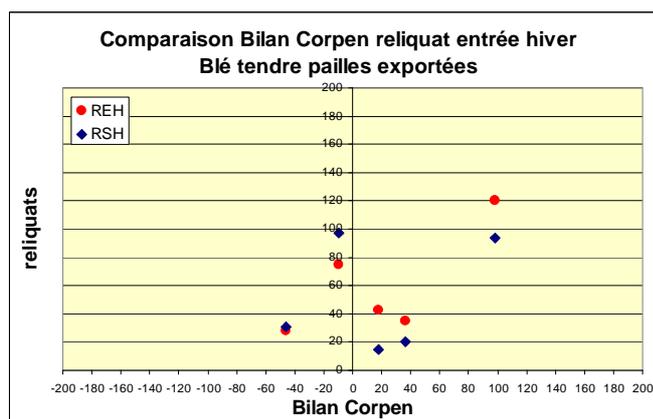
Pour le colza les bilans sont souvent positifs. Il n'y a pas de relation apparente entre ce bilan et le reliquat entrée hiver. Pour le colza les besoins sont calculés avec un coefficient de 6.5, les exports sont de 3.5, il reste donc une quantité importante d'azote dans les feuilles qui a pu se minéraliser de la récolte à la mesure de reliquats. Il y a une baisse générale des reliquats en sortie d'hiver.

3. 1. 5. Précédents blé tendre



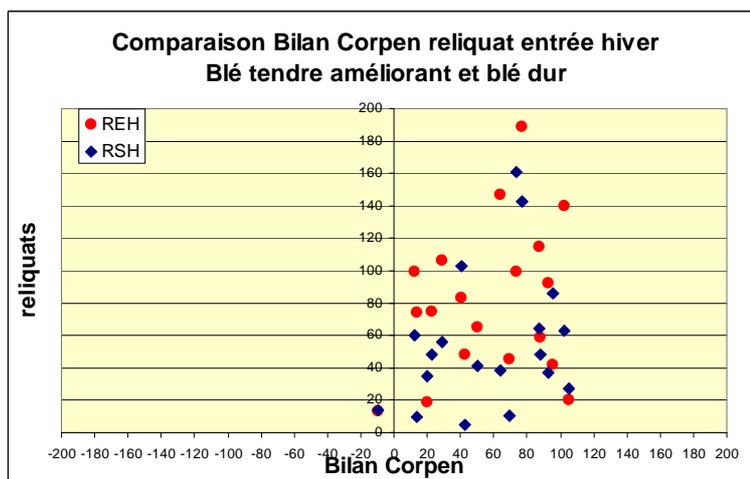
Coef export 1.9kg/q pailles enfouies 2.2kg/q pailles enlevées

Les bilans CORPEN sont tous positifs, en effet les cultures d'hiver bénéficient de la moitié des fournitures annuelles du sol. Les bilans CORPEN sont donc structurellement positifs. Il n'y a pas de relation entre les reliquats entrées et ce bilan, il y a eu une minéralisation du sol entre la récolte et la mesure. Les trois parcelles ayant les reliquats les plus forts ont reçu des vinasses



Avec l'exportation des pailles les bilans peuvent être faibles. Il n'y a pas de relation.

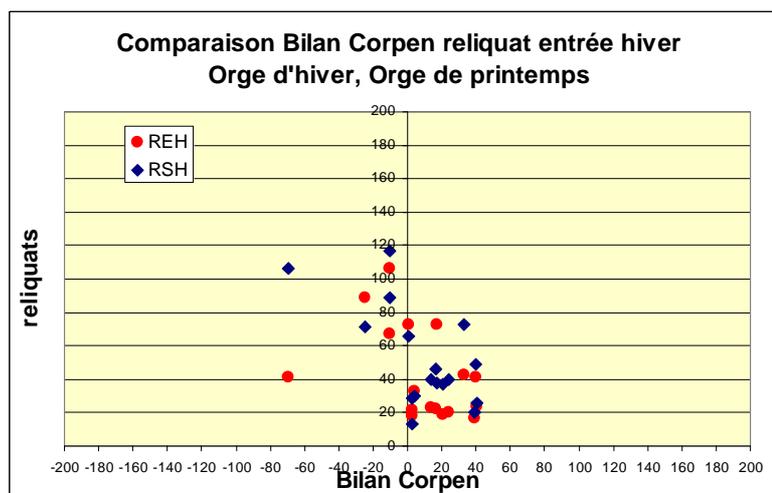
3. 1. 6. Blé tendre améliorant et blé dur



Coef export : Blé dur 2.19kg/q pailles enfouies, 2.5kg/q pailles enlevées, 2.3 Blé améliorant

Les reliquats entrée hiver sur certaines parcelles sont très forts. Il n'y a pas de relation entre le bilan CORPEN et ces gros reliquats. La minéralisation du sol a accentué ces bilans

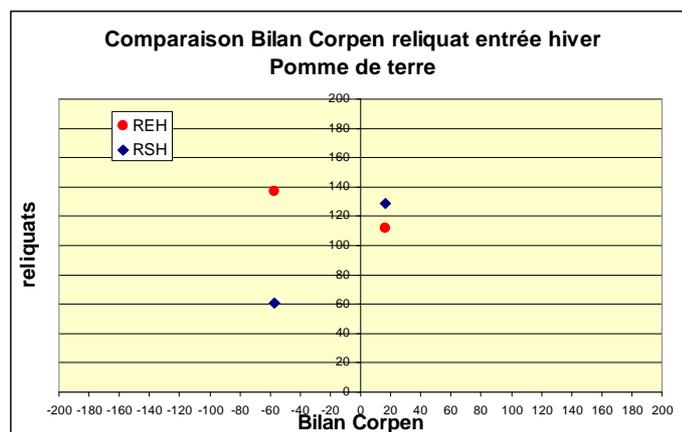
3. 1. 7. Précédent Orge d'hiver, Orge de printemps



Coef export 1.5kg/q pailles enfouies 1.8kg/q pailles enlevées

Pour les orges les bilans sont plus faibles, mais nous observons néanmoins des reliquats forts en entrée d'hiver. 12 reliquats sur 17 ont des valeurs inférieures à 45 Kg/ha.

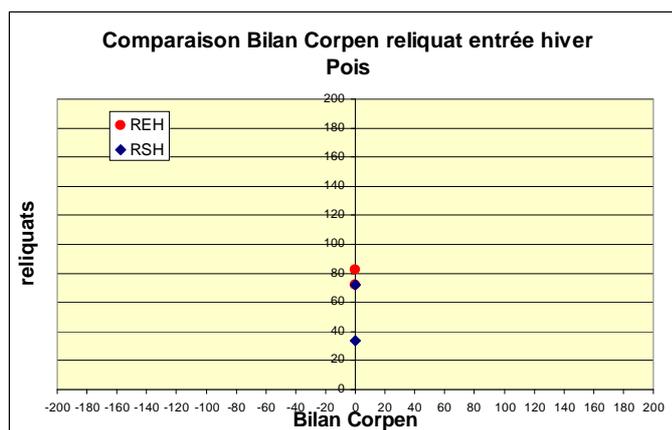
3. 1. 8. Pomme de terre



Coef export 3.5kg/t

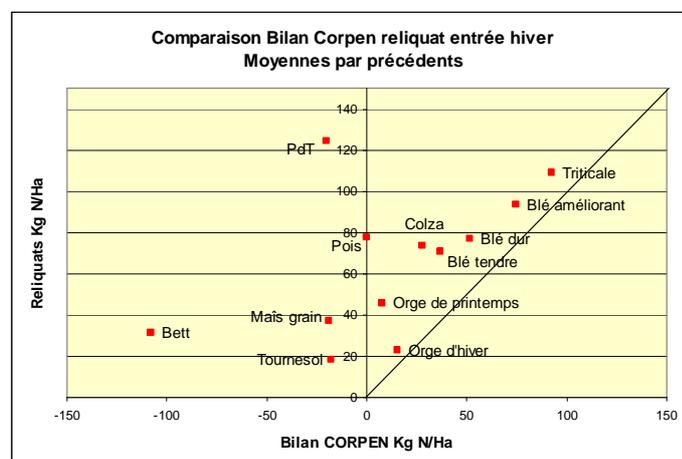
Malgré des bilans équilibrés voir en déficit les reliquats en entrée d'hiver sont forts. L'azote stocké dans les feuilles c'est déjà minéralisé, contrairement aux betteraves qui ont été récoltées plus tardivement.

3. 1. 9. Précédent Pois



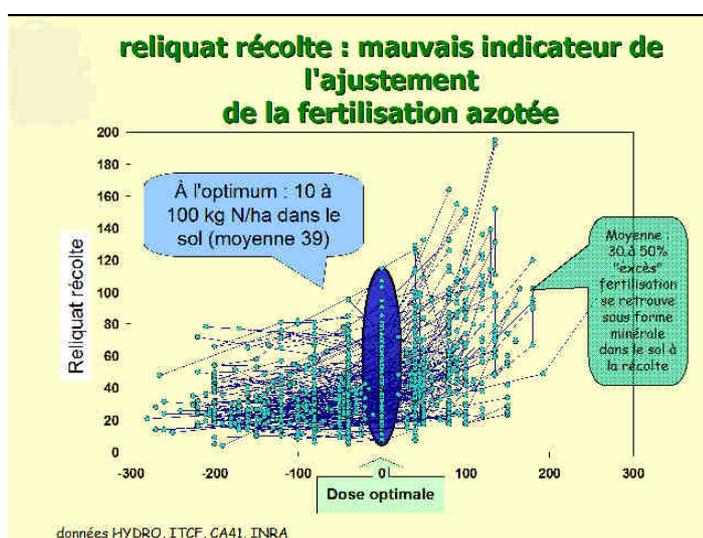
Le bilan CORPEN n'est pas faisable pour le pois car nous ne connaissons pas les entrées en azote. Les reliquats en entrée d'hiver sont assez forts.

3. 1. 10. Moyennes par précédents

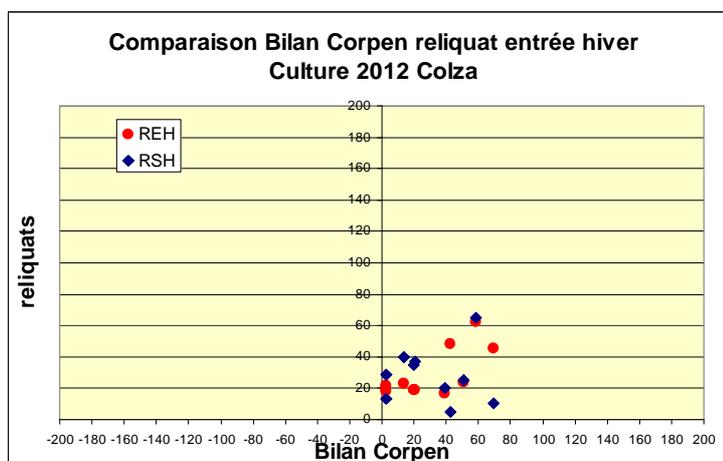


Parcelle par parcelle il est difficile de mettre en relation des reliquats entrée hiver avec un indicateur de bonne fertilisation. Par contre si l'on fait cette comparaison avec la moyenne par précédent cette comparaison est déjà plus lisible.

Les cultures de printemps à cycle long valorisant bien la minéralisation du sol ont des bilans déficitaires et des reliquats entrée hiver faibles. Pour les céréales quelles soient semées d'hiver ou de printemps il y a une liaison nette entre cet indicateur de bonne pratique et le reliquat entrée hiver. Les pois et les pommes de terre peu représentés sortent de ces règles. Nous n'avons qu'une valeur pour le triticale. Cette observation avait déjà été faite dans le cadre du suivi expérimental de Villamblain (1991 2001). Par parcelle nous n'intégrons par l'historique cultural, le système de culture qui peut induire des minéralisations de sols variables à l'automne. Dans le document CORPEN de 1994 il était aussi montré des valeurs de reliquat fin de cultures à la dose X variables dépendants de la situation de l'essai.

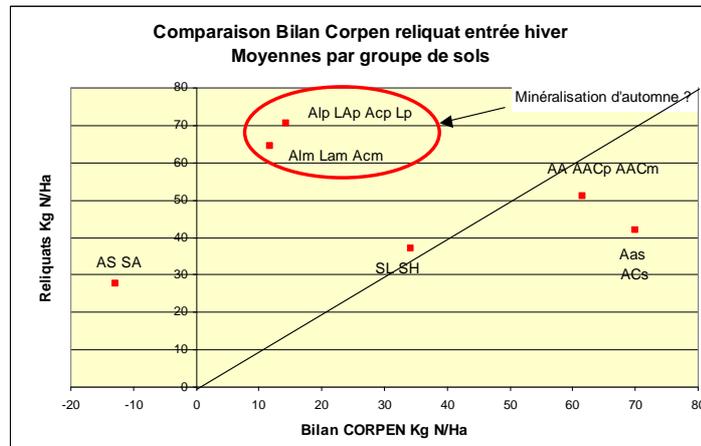


3. 2. Culture 2012 colza



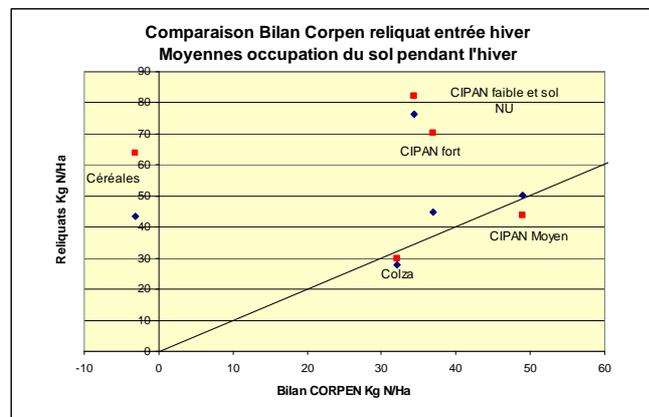
Sous colza en place les reliquats sont faibles et semblent en liaison avec les bilans CORPEN des précédents.

3. 3. Comparaison avec le bilan entré sortie de la culture précédente par type de sols.



Sur sol Limoneux, Limono-argileux et Argilo-limoneux il semble que la minéralisation de fin d'été automne ait augmenté les reliquats entrés hiver. Ceci se voit moins dans les autres types de sol.

3. 4. Comparaison Bilan CORPEN et reliquat entrée hiver, effet de la couverture automnale



L'effet colza est net. Cette année les colzas étaient fortement développés et ont capté la minéralisation automnale. Par contre l'effet CIPAN n'est pas probant. Avec un développement faible ils se rapprochent des sols nus, pour les CIPAN fortement développés (7 parcelles) le reliquat entrée hiver est fort.

L'appréciation sur l'état de développement du CIPAN vient de la fiche de renseignement. C'est donc une appréciation visuelle faite par l'agriculteur. Il n'y a pas de pesée.

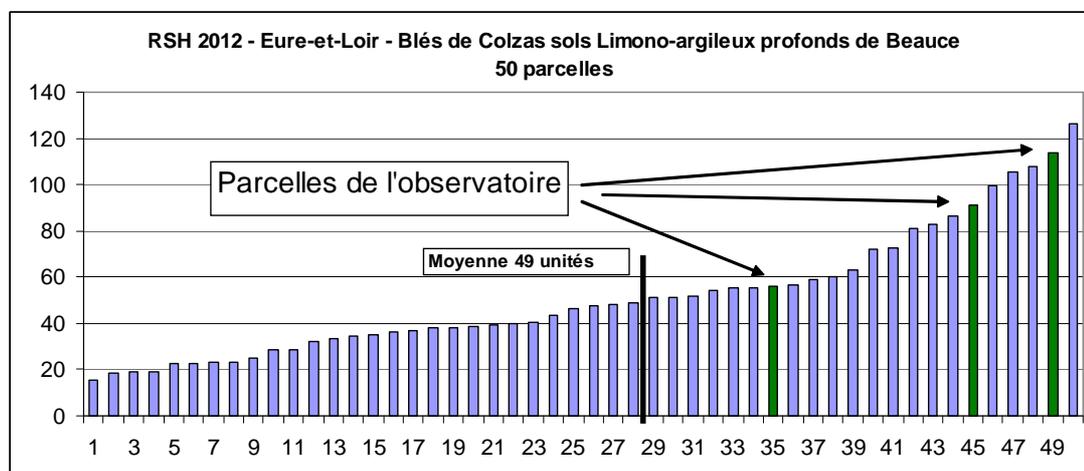
4. Reliquats sortie hiver (RSH) :

Culture_2012_2	Précédent_2011	Nb_Parcelles	REH Total	RSH Total	Ecart_RSH-Moy Dept
Sols nus		33	65	60	13
Blés	Pommes de terre	2	118	92	31
	Pois Protéagineux	2	72	50	4
	Colza d'hiver	14	70	47	2
	Blé dur d'hiver	6	84	43	-10
	Betterave sucrière	8	29	30	1
	Blé tendre d'hiver	9	69	47	10
	Maïs grain	6	35	25	-3
	Tournesol	2	17	11	-12
Colza d'hiver		9	29	28	-5
Sous-Total		91	59	47	5
Sols nus		5	89	74	
Colza d'hiver		1	21	13	
Blés	Pois Protéagineux	1	33		
	Maïs grain	1	19		
Sous-Total		8	65	64	
TOTAL		99	60	48	5

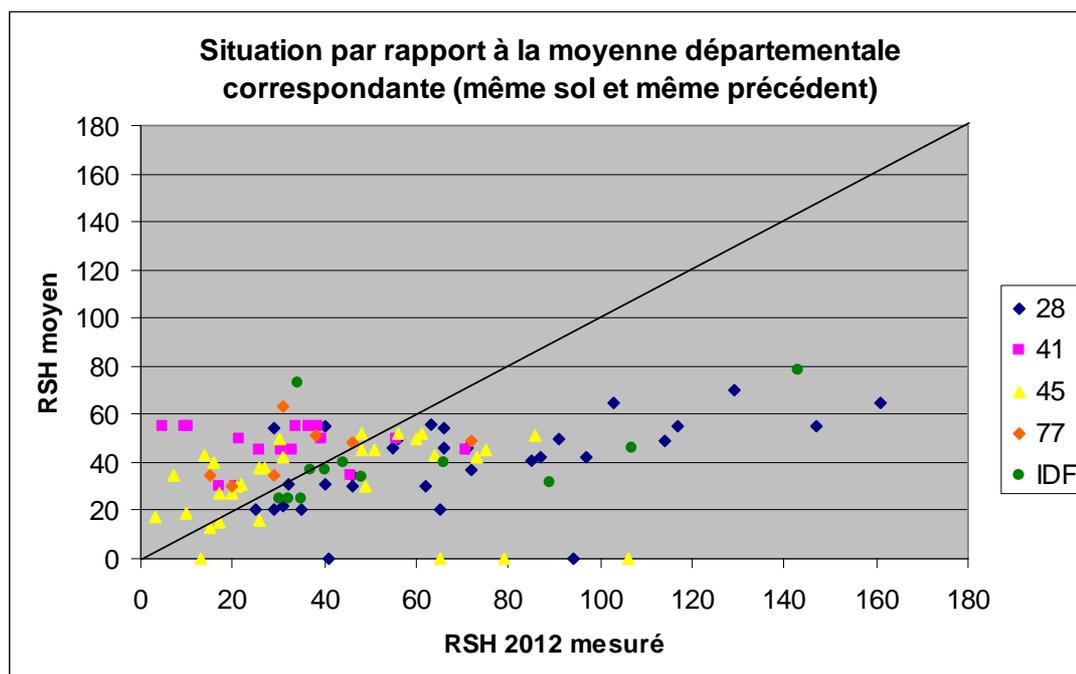
Globalement, nous pouvons noter que les reliquats de l'observatoire sont plus élevés que les reliquats moyens observés à situations équivalentes (sol x précédent) dans les différents départements : **+ 5 kg N /ha**.

En sortie d'hiver on s'attend logiquement à avoir des reliquats plus élevés dans les situations à précédents forts (Blé dur, Betterave, Légumineuse, colza et Pommes de terre). Cette logique est assez bien respectée sauf en ce qui concerne les blés de blés tendre qui ressortent avec des RSH anormalement élevés, équivalents à ceux des parcelles en précédents colzas.

Il faut noter qu'il est difficile ici d'interpréter finement ces écarts, car le faible nombre d'analyses de l'observatoire nous force à regrouper les types de sols. De plus, les parcelles choisies aléatoirement peuvent ne pas être représentatives de la réalité moyenne locale. Ainsi voici à titre d'exemple la dispersion des reliquats observés en Eure-et-Loir pour les blés de colza en sols limono-argileux profonds, et la situation relative des parcelles de l'observatoire :



Si nous comparons les reliquats mesurés aux moyennes départementales, nous obtenons le nuage de point suivant :



Nous pouvons constater qu'un certain nombre de points s'écartent significativement de la droite $y=x$ avec un RSH très supérieur à la moyenne, et cela surtout en Eure-et-Loir et un peu en Ile de France. Pour l'Eure-et-Loir, une explication possible est la reprise de minéralisation fin février (températures supérieures à 5°) compte tenu de la date tardive de prélèvement des RSH.

5. Calcul de lessivage en période hivernale (modèle de Burns) :

5. 1. Approche Théorique

Le modèle de Burns est un modèle de lessivage. Il permet d'estimer la part du reliquat qui est lessivée, dès lors qu'il y a une lame d'eau drainante, c'est-à-dire de la pluie efficace qui percole sous le sol considéré. Dans le cadre de cette étude nous cherchons à apprécier le lessivage qui a pu se produire entre les mesures de REH et de RSH.

La première étape consiste à réaliser un bilan hydrique pour chaque poste météo entre les deux dates de mesure du reliquat. L'objectif est d'obtenir la pluie nette, c'est-à-dire celle qui recharge la réserve du sol.

$$P_{nette} = (P - k \times ETP) / 10$$

P_{nette} = Pluie nette en cm

P = Pluviométrie durant la période REH→RSH en mm

k = coefficient cultural (pendant l'hiver = 0.3 en sol nu, 0.5 en blé, 0.7 en colza)
 ETP = EvapoTranspiration Potentielle en mm durant la période REH→RSH
 P et ETP sont des données météorologiques.

Ensuite, pour obtenir la pluie efficace, ou lame d'eau drainante, on déduit de cette pluie nette la variation de réserve en eau du sol :

$$\text{Variation RU} = (\text{Hté RSH} - \text{Hté REH}) \times \text{da} \times \text{h}$$

$$\text{Peff} = \text{Pnette} - \text{Variation RU}$$

Da = densité apparente du sol en kg de terre sèche /dm³ (valeurs utilisées : 1.35 de 0 à 30cm, 1.50 de 30 à 90cm)

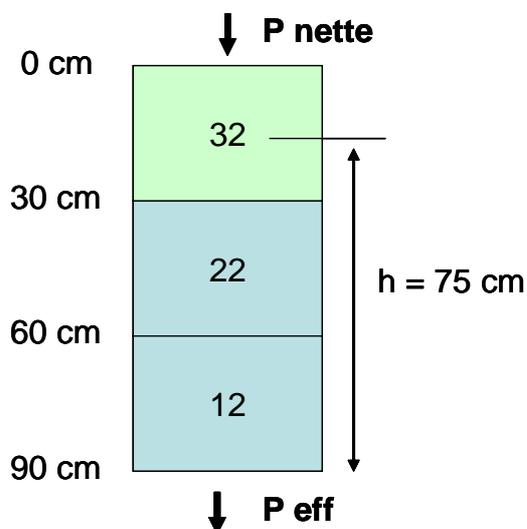
h = épaisseur du sol considéré en cm.

Variation RU est en cm.

La pluie efficace va ensuite intervenir dans la formule de BURNS qui donne pourcentage d'azote lessivé. On utilise la formule simplifiée de Burns (d'après « les indicateurs azote – Fiches détaillées », CORPEN, p.66).

$$\% \text{ lessivé} = [\text{Peff} / (\text{Peff} + \text{Hv})]^h$$

Exemple pour le calcul du lessivage de l'azote présent dans le 1er horizon :



Peff = Pluie efficace en cm

Hv = Humidité Volumique à la capacité au champ (Hcc) en % (environ 50% en sols d'argile lourde, 35% en sols limoneux et 20% en sols sableux).

h = Profondeur du sol en cm à traverser par les nitrates : si l'on considère un sol de 90cm de profondeur et que l'on s'intéresse au devenir du reliquat du premier niveau 0-30cm, par simplification on considère que le reliquat est à 15 cm, et donc que h = 90-15 = 75 cm.

De la même façon, pour le deuxième niveau 30-60cm, h = 45 cm, et pour le troisième niveau 60-90 cm, h = 15 cm.

Ce %lessivé permet ensuite de calculer la quantité d'azote emportée par les eaux de percolation vers le sous-sol :

$$N_{\text{lessivé}} \text{ (kg)} = \%_{\text{lessivé}} \times \text{REH}$$

On peut alors estimer la concentration en nitrates des eaux d'infiltration pour chaque parcelles.

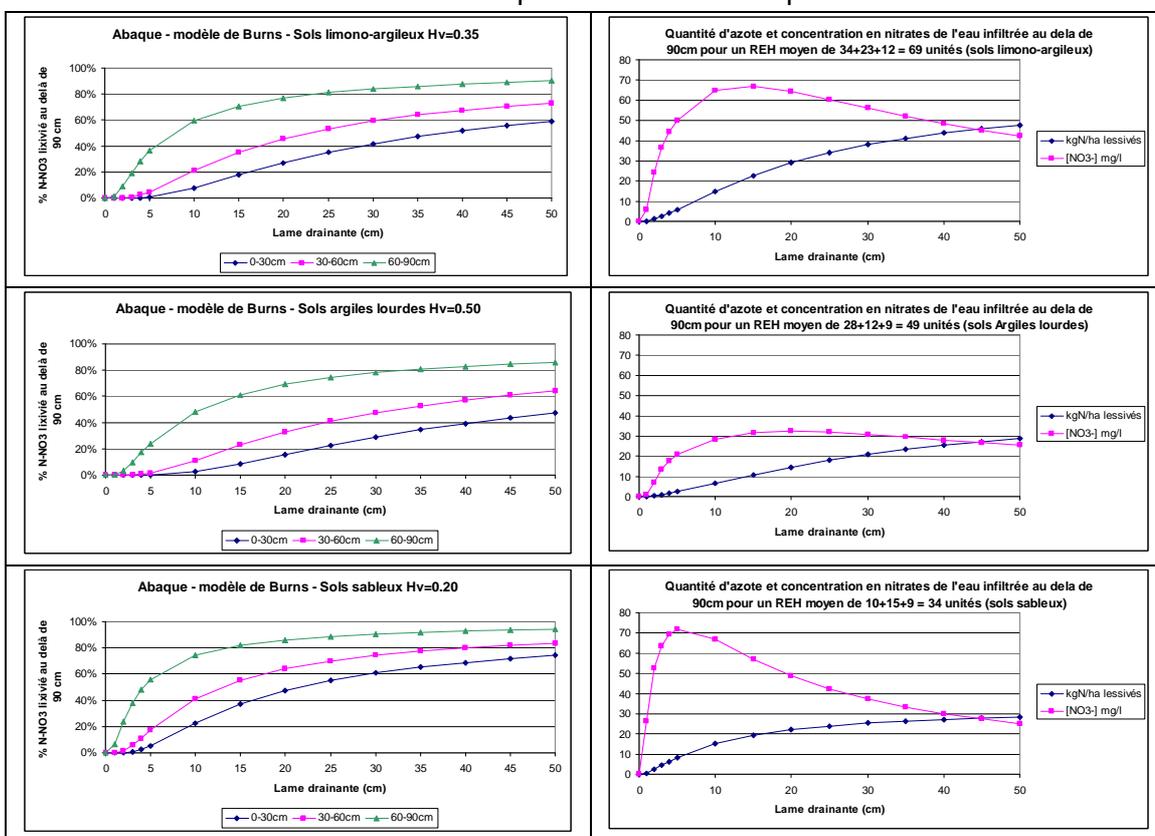
$$[\text{Nitrates}] = [N_{\text{lessivé}} / \text{Peff} \times 10] \times (62/14)$$

[Nitrates] = la concentration en nitrates en mg/L

REH = le Reliquat Entrée Hiver en kg

Peff = la pluie efficace en cm

En faisant varier la lame drainante on peut obtenir les abaques suivants :



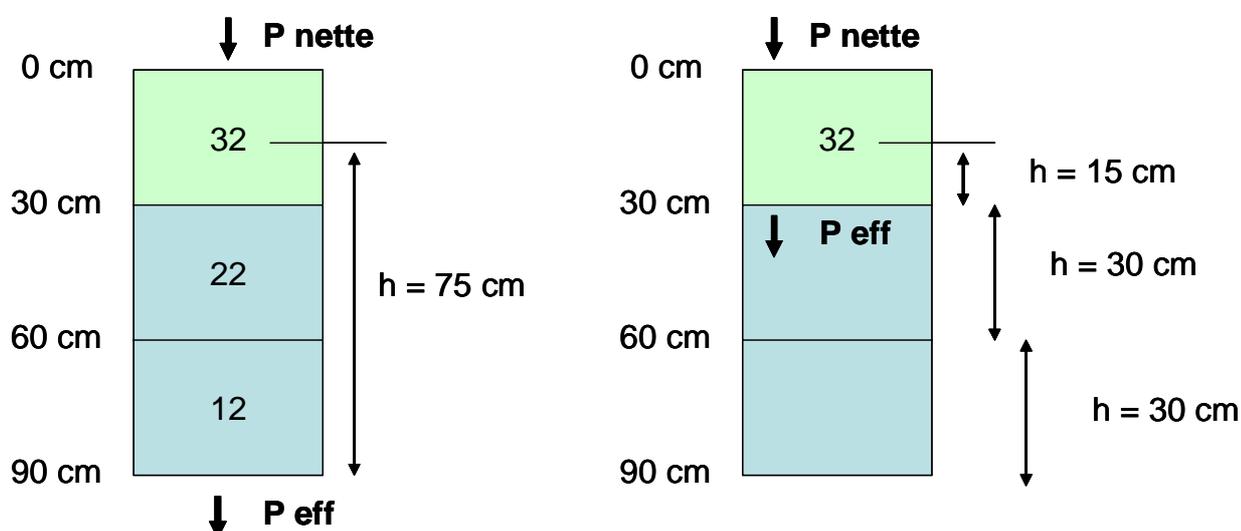
Ainsi, si nous appliquons des pluies efficaces croissantes sur le REH moyen de chaque grand type de sol, nous pouvons estimer les quantités d'azote nitrique lessivées et la concentration résultante des eaux de percolation (graphiques ci-dessus colonne de droite).

Nous observons logiquement une quantité d'azote lessivé croissante. En revanche, la concentration de l'eau percolée augmente dans un premier temps puis décroît au-delà d'une certaine quantité d'eau drainante par effet de dilution.

La formule de Burns peut aussi être appliquée en plusieurs étapes de manière à décomposer pour pouvoir calculer le reliquat restant dans chaque couche de sol, afin de comparer ce RSH théorique avec le RSH mesuré. Ainsi :

(voir schéma de droite ci-dessous)

- étape 1 nous considérons la lame drainante qui percole sous l'horizon 0-30cm lessivant le reliquat de cet horizon sur une épaisseur de 15 cm.
- étape 2, la lame drainante précédente est réduite de la variation d'humidité du niveau 2 : elle sert à entrainer jusqu'à 60cm de profondeur le reliquat du niveau 2 sur 15 cm et les nitrates entrainés depuis le niveau 1 sur 30 cm d'épaisseur.
- étape 3, lame drainante précédente est réduite de la variation d'humidité du niveau 3 : elle sert à entrainer jusqu'à 90cm de profondeur le reliquat du niveau 3 sur 15 cm et les nitrates entrainés depuis les niveaux 1 et 2 sur 30 cm d'épaisseur.



Si la lame drainante ne varie pas, les deux approches sont équivalentes :

$$(Ed/(Ed+Vm/100))^{75} = (Ed/(Ed+Vm/100))^{15} * (Ed/(Ed+Vm/100))^{30} * (Ed/(Ed+Vm/100))^{30}$$

5. 2. Synthèse des résultats du modèle de lessivage

Le calcul de lessivage est réalisé individuellement pour chaque parcelle en tenant compte de son REH, de son type de sol, de sa profondeur, du poste météo de rattachement et des dates de prélèvement du REH et du RSH.

Sol (Nb de niveaux)	Nombre de Parcelles	Lame drainante en cm d'eau	kg d'azote /ha lessivé	mg/l NO3	REH				RSH Théorique				RSH Mesuré			
					Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Total	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Total	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Total
1	1	13.3	40	132	59			59	19			19	37			37
2	17	10.2	18	75	24	22		46	10	19		28	25	12		37
3	79	8.6	13	62	29	22	12	63	11	21	19	50	19	14	18	51
3	2	12.5	6	22	17	5	4	26	6	8	6	20	(non prélevées)			
Total	99	9.0	14	64	28	22	12	60	11	20	18	46	20	13	18	48

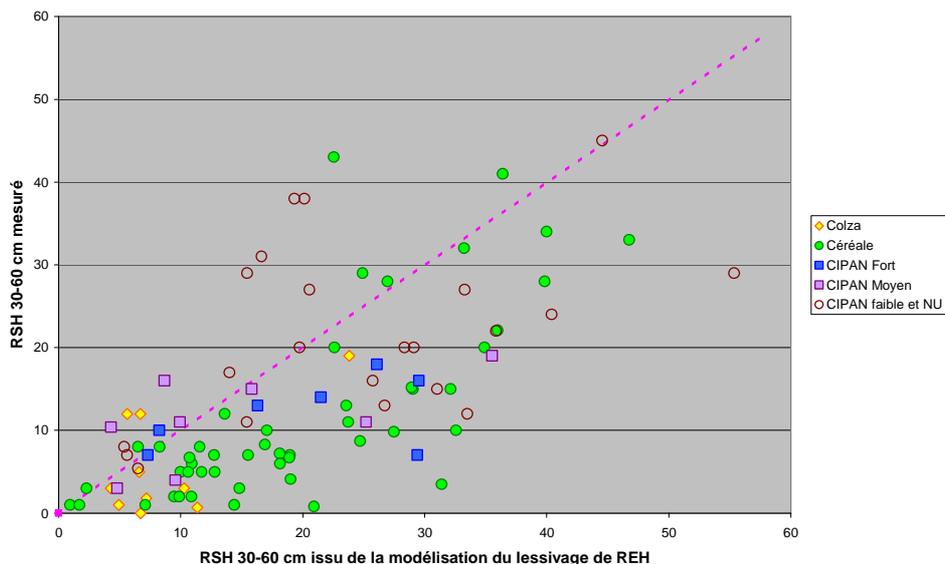
Sur l'ensemble des 99 parcelles, le REH moyen est de 60 kg N /ha (28-22-12).
Le lessivage estimé est de 14 kg N /ha pour une lame drainante moyenne de 90 mm (128 mm de pluie), soit une concentration en nitrates moyenne de 64 mg/l.

Le RSH théorique après lessivage est de 46 unités (11-20-18).

Attention :

Ces moyennes sont à considérer avec prudence compte tenu de la faible taille de l'observatoire, de l'incertitude sur la représentativité des sols, et des particularités de l'année climatique (forte minéralisation d'automne, prélèvements retardés par le gel de février). C'est aussi le résultat d'une modélisation qu'une seule année de recul ne permet pas de valider (voir ci-après). Cet observatoire n'a de sens que si ce travail est poursuivi dans la durée.

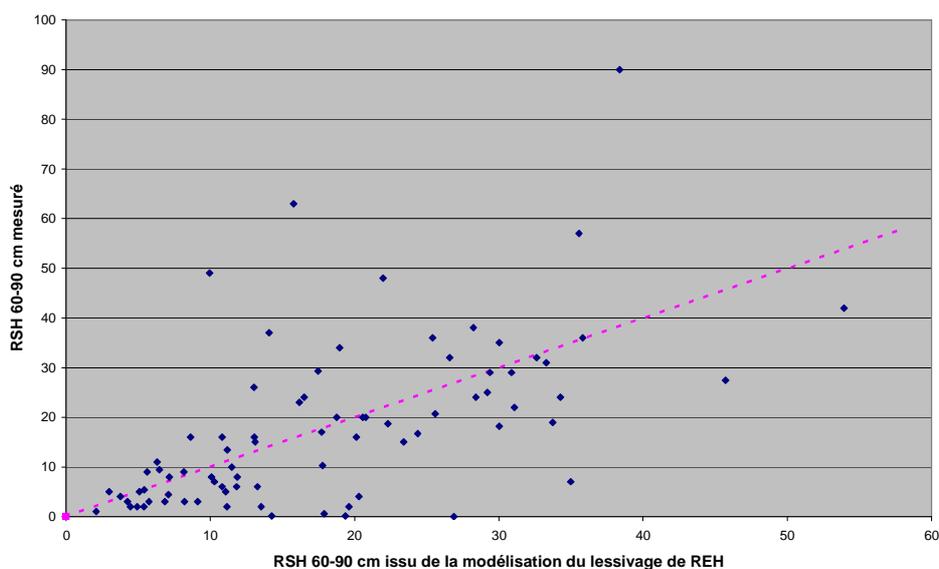
Le RSH mesuré est de 48 unités ce qui semble valider globalement le modèle de lessivage. Toutefois, nous pouvons noter le profil de répartition réel un peu plus chargé en surface (20-13-18), ce qui témoigne d'une minéralisation hivernale de l'ordre de 10 à 20 unités. Nous observons que ces nitrates supplémentaires apparaissent compensés dans les sols profonds (79 parcelles) par un reliquat mesuré moindre dans le 2^o niveau.



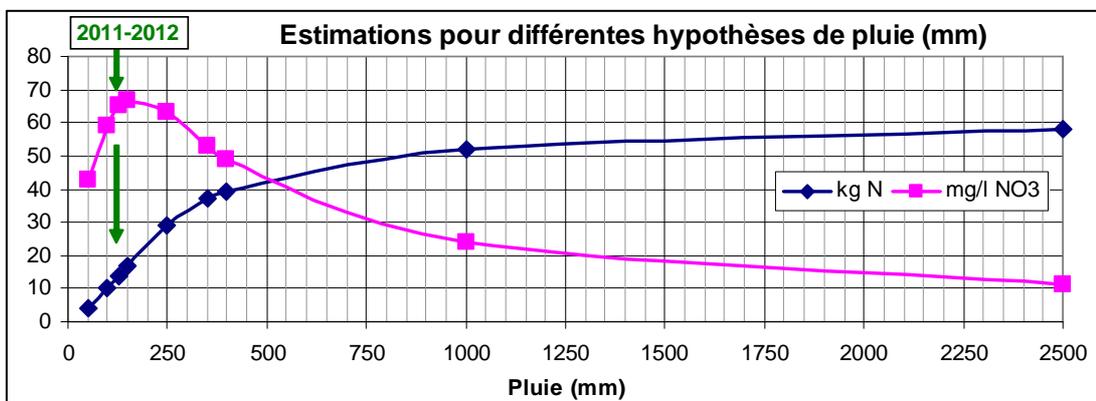
Le graphique ci-dessus montre que la grande majorité des parcelles ayant une couverture hivernale se retrouve sous la bissectrice $y=x$, donc avec un reliquat réel inférieur au reliquat modélisé. Ce n'est pas le cas des sols nus beaucoup plus régulièrement répartis autour de cette droite. Ce graphique met en évidence l'absorption de l'azote par la couverture végétale hivernale.

Nous avons donc en présence, après la période de lessivage du mois de décembre, deux effets antagonistes : la minéralisation qui se produit plutôt dans le premier niveau qui se trouve enrichi en azote, et l'absorption par les cultures qui porte sur le premier et le deuxième niveau mais n'est visible que sur le deuxième du fait de la minéralisation évoquée ci-avant.

Le fait que le RSH mesuré (51u) est proche du RSH théorique (50u) est donc une coïncidence. Seule la correspondance entre les RSH mesurés et théorique du troisième niveau peut valider le modèle. Là encore il faut rester prudent car on observe dans la réalité une grande dispersion des parcelles derrière cette moyenne (voir graphique ci-dessous).



5. 3. Simulation d'une lame drainante croissante :

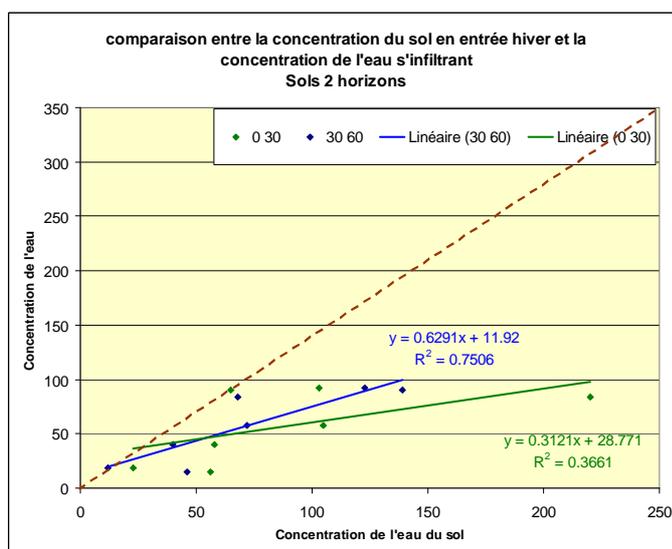


L'application d'une lame drainante croissante aux 99 parcelles de notre observatoire permet de visualiser l'évolution théorique de la concentration prédite par le modèle de Burns. Nous voyons que le maximum serait atteint pour une pluviométrie d'environ 150mm. Compte tenu du niveau élevé de REH observé cette année (forte minéralisation d'automne), seule une pluie inférieure à 50 mm ou supérieure à 400 mm aurait permis une teneur des eaux d'infiltration inférieure à 50 mg/l.

5. 4. Comparaison teneur en Nitrate de la solution du sol en entrée d'hiver et de la teneur estimée de l'eau percolant vers la nappe.

Deux horizons

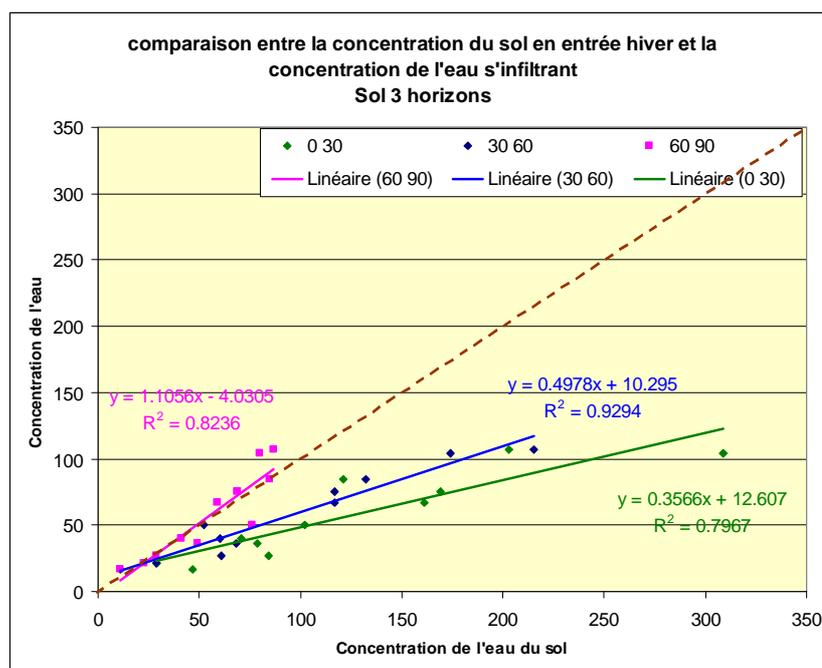
	Nombre de parcelles	Reliquat entrée hiver		Reliquats sortie hiver		Moyenne lessivage NO3 (mg/l)
		Moyenne REH (NO3) 0-30 cm (mg/l)	Moyenne REH (NO3) 30-60 cm (mg/l)	Moyenne RSH (NO3) 0-30 cm (mg/l)	Moyenne RSH (NO3) 30-60 cm (mg/l)	
Précédent 2011						
Colza d'hiver	2	105	72	71	19	58
blé tendre d'hiver	8	103	123	74	69	92
Blé améliorant	1	56	46	109	41	15
Pois Protéagineux	1	220	68	160	61	84
Orge de printemps	3	65	139	109	56	90
Maïs grain	1	58	40	92	38	40
Betterave sucrière	1	23	12	36	10	19



La corrélation entre le niveau de surface est faible. Elle est meilleure avec le deuxième horizon. La teneur de l'eau percolée est toujours inférieure à la teneur des horizons

Trois horizons

	Nombre de parcelles	Reliquat entrée hiver			Reliquats sortie hiver			Moyenne lessivage NO3 (mg/l)
		Moyenne REH (NO3) 0-30 cm (mg/l)	Moyenne REH (NO3) 30-60 cm (mg/l)	Moyenne REH (NO3) 60-90 cm (mg/l)	Moyenne RSH (NO3) 0-30 cm (mg/l)	Moyenne RSH (NO3) 30-60 cm (mg/l)	Moyenne RSH (NO3) 60-90 cm (mg/l)	
Précédent 2011								
Colza d'hiver	12	169	117	69	48	58	78	75
blé tendre d'hiver	18	161	117	59	66	72	89	67
Blé dur d'hiver	14	121	132	85	54	44	92	85
Blé améliorant	3	203	215	87	104	83	128	107
Pommes de terre	2	309	174	80	73	148	113	104
Pois Protéagineux	2	102	52	76	22	31	73	50
Orge de printemps	12	79	68	49	75	62	72	36
Escourgeon	2	29	29	23	86	48	17	21
Maïs grain	6	71	60	41	33	16	29	40
Betterave sucrière	7	84	61	29	62	33	32	27
Tournesol	2	47	11	11	27	15	12	17



La corrélation semble meilleure en prenant les parcelles où il a eu trois horizons analysés. Les teneurs du troisième horizon sont proches des teneurs de l'eau lixiviante. Les teneurs des horizons de surface restent supérieures aux teneurs de l'eau percolante. Ceci est normal car il n'y a jamais de lixiviation totale des nitrates, que le modèle de Burns prend en compte.

6. Limites de validité et améliorations possibles

Suite à cette première campagne, il est trop tôt pour tirer des conclusions, aussi nous nous limiterons à émettre quelques propositions afin d'améliorer la réalisation de ce suivi pour les prochaines années :

La campagne devra être préparée plus précocement afin que les prélèvements soient réalisés à des dates plus homogènes. Vers le 15 Novembre en entrée d'hiver, et vers fin janvier en sortie d'hiver.

Ce premier dépouillement nous permet de prévoir les informations nécessaires qui seront donc récoltées en une fois le plus tôt possible.

Un bilan entre le prévisionnel et le réalisé serait plus pertinent que le bilan CORPEN afin de comprendre les REH.

Le modèle de lessivage de Burns pourrait être affiné en prenant en compte de manière plus précise les densités apparentes et les humidités volumiques à la capacité au champ de chaque type de sol.

Un observatoire plus important serait plus représentatif. Faudrait-il moins de sols et/ou moins de cultures ?

Faut-il suivre chaque année les mêmes parcelles avec le risque d'une dérive par amélioration progressive des pratiques sur ces parcelles à cause du suivi, et risque d'éloignement de la matrice représentative des cultures ?

Faut-il changer chaque année de parcelle ? C'est plus lourd, et étant donné le faible nombre de parcelle, l'échantillon ne sera pas équivalent d'une année à l'autre.

Ne faut-il pas, a minima, réserver un lot significatif de parcelles supplémentaires pour « zoomer » sur un ensemble sol x culture x précédent pour pouvoir apprécier justement par exemple l'effet des CIPAN ?

Enfin, le climat et les reliquats azotés sont très variables d'une année à l'autre, et cet observatoire n'a de sens que si ce travail est poursuivi dans la durée.

7. ANNEXES :

- Fichier Excel avec :
 - le détail des données parcellaires et laboratoire, et les calculs par parcelles.
 - Les données météo (température moyenne, pluie et ETP) en décadaire et en journalier pour les postes de Chartres, Viabon, Chateaudun, Bricy, Pithiviers, Amilly, St Léonard en Beauce, Orgéus et Courdimanche.
- Fichiers PDF avec les moyennes locales ou départementales de RSH 2012.
- Fichiers PDF avec les fiches de conseil renvoyées aux agriculteurs suite à l'interprétation des RSH des parcelles de l'observatoire Beauce.