

Pollution des eaux

L'impact du travail transferts de produits ph

L'absence de labour modifie de nombreuses caractéristiques du sol : porosité, activité biologique, couverture du sol,... Des essais réalisés dans l'Ouest de la France ont permis d'évaluer les fuites de molécules selon les techniques culturales. Lorsqu'elles sont appliquées au printemps et en été, les matières actives sont moins mobiles avec les techniques sans labour. Mais avec des applications en hiver et à l'automne sur des sols proches de la saturation en eau, l'avantage est au labour.



En détruisant les continuités hydrauliques, le labour ralentit l'infiltration de l'eau en profondeur et les transferts verticaux de molécules appliquées à l'automne.

Les techniques sans labour (TSL) se sont fortement développées dans certains pays comme les Etats-Unis, le Brésil ou l'Australie. La réduction des coûts de production et la recherche d'une meilleure efficacité de la main-d'œuvre ont en partie guidé ce choix. La protection des sols a constitué une autre source de motivation pour le non-labour, et notamment pour le semis direct. L'érosion (hydrique et éolienne) a causé de graves problèmes dans ces

pays : dégradation des sols, nuisances, pollutions,... Dès les années 30, les Etats-Unis ont ainsi démarré un important programme de conservation des sols (semis direct, aménagement du parcellaire, mise en réserve des terres,...). Le phénomène érosif le plus connu est celui du Dust Bowl, engendré par une érosion éolienne catastrophique consécutive à la mise en culture des sols limoneux du sud-ouest des Etats-Unis. Au Brésil, le semis sous couverture végétale (semis direct continu associé à des couverts végétaux) s'est rapidement développé ces dernières années pour protéger des sols tropicaux fragiles et dégradés par les pratiques de travail du sol associées à un climat très agressif.

Le contexte est bien sûr différent en France. L'érosion, même si elle peut être ponctuellement grave, n'est pas chez nous un problème majeur. En revanche, le ruissellement de l'eau à la surface des parcelles est un vecteur de polluants (phytosanitaires, phosphore,...) qui peut altérer la qualité des eaux de surface. Le transfert de résidus de produits phytosanitaires peut aussi se produire par lessiva-

ge dans les sols superficiels ou par les réseaux de drainage dans les parcelles qui en sont équipées.

Une circulation de l'eau différente

Le travail du sol influence la circulation de l'eau dans le sol. En effet, le non-labour a tendance à limiter les phénomènes de ruissellement sur des sols sensibles à la battance et à favoriser la circulation de l'eau en profondeur.

La présence de résidus de récolte à la surface du sol protège les mottes de terre de l'effet "splash" des gouttes de pluies qui peuvent les désagréger et conduire à la formation d'une croûte de battance favorable au ruissellement hortonien. On assiste à la constitution d'un mulch de surface qui réduit très fortement la formation de la croûte de battance et provoque une rugosité de surface défavorable au ruissellement. Ce mulch augmente l'infiltration de l'eau et réduit l'évaporation du sol. Par ailleurs, les résidus et les matériaux humiques associés augmentent la capacité au champ. En non-labour, l'humidité dans les premiers centimètres du sol est plus im-

Benoit Réal
b.real@arvalisinstitutduvegetal.fr

Jérôme Labreuche
j.labreuche@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS – Institut du végétal

Djilali Heddadj
djilali.heddadj@morbihan.chambagri.fr

Chambre d'Agriculture de Bretagne

du sol sur les ytosanitaires

portante qu'en labour et ce tout au long de la saison de culture. Enfin, l'augmentation du taux de matière organique sur les cinq premiers centimètres du sol est constatée par l'ensemble des spécialistes dans ce domaine. Ainsi, sur le site de La Jaillière, lors de l'abandon du labour en 1987, le taux de matière organique de la parcelle T5 était de 2,2% dans l'horizon 0-10 cm. Treize ans plus tard, en 2000, il était de 3,6% dans l'horizon 0-5 cm et de 3,0% dans l'horizon 5-10 cm.

Une plus forte activité biologique

Par ailleurs, l'activité biologique dans l'horizon de surface est plus intense en non-labour qu'en labour. Ainsi, le non-labour permet d'avoir une biomasse lombricienne plus importante qu'en labour, ce qui engendre de nombreuses conséquences sur les transferts d'eau et de résidus de produits phytosanitaires. L'activité des vers de terre permet un fractionnement des matières organiques fraîches et contribue à long terme au processus de décomposition des résidus de culture. Le micro-brassage du sol par les lombriciens permet également un ensemencement microbien globalement favorable à l'ensemble des propriétés de la couche arable. Outre les lombrics, on note aussi une augmentation des populations de micro-arthropodes en non-labour. L'activité lombricienne n'est pas sans incidence sur la circulation de l'eau. Les galeries creusées

par les vers de terre améliorent la structure de surface et facilitent l'infiltration de l'eau en profondeur. Elles ne sont pas détruites avec le non-labour, alors que le labour, lui, détruit ces continuités hydrauliques. La "semelle" de labour constitue une rupture de continuité de la perméabilité. Elle rend le sol moins perméable. Ainsi, différents auteurs (Hall et al., 1991; Hall et al., 1989; Isensee et al., 1990, Gaston et Locke, 1996) ont pu noter en non-labour une augmentation des transferts par drainage de molécules comme les triazines ou le métolachlore.

En revanche, en non-labour, l'augmentation des concentrations de matières organiques dans les premiers centimètres à moyen et long terme favorise l'adsorption des molécules à la surface du sol ainsi que leur décomposition. C'est ce que suggèrent Levanon et al. (1993) pour expliquer la réduction des transferts d'atrazine, de carbofuran, de diazine et de métolachlore par lixiviation qu'ils ont observée en non-labour. D'autres auteurs (Dao, 1995; Weed et al., 1995; Fernamich et al., 1996) abondent dans ce sens. Enfin, dans d'autres études (Starr et Glofelty, 1990) n'ont pas montré de différences entre les deux techniques de travail du sol.

Moins de ruissellement

Par ailleurs, le non-labour a une influence reconnue dans la diminution des phénomènes de ruissellement et des transferts de résidus phytosanitaires

par ce mode d'écoulement. C'est ce qui ressort de différentes études (Hall J.K., 1991; Brown et al., 1985; Felsot et al., 1990; Glenn et Angle, 1987; Hall et al., 1984). Fawcett et al. (1994) ont montré au cours de cinq années d'études sur des bassins versants que l'entraînement des herbicides par ruissellement était réduit de 70% en moyenne. Les concentrations en ruissellement peuvent être plus importantes en non-labour, mais du fait de volumes de ruissellement plus faibles, les flux de résidus sont diminués. Les auteurs considèrent que ces transferts en non-labour peuvent néanmoins être conséquents en conditions extrêmes : pluies très intenses juste après l'application des herbicides. En France, les expérimentations conduites en petites parcelles par ARVALIS-Institut du végétal à Bignan (Morbihan), Spechbach (Haut-Rhin) et La Jaillière (Loire-Atlantique)* ont permis d'observer une diminution des volumes ruisselés et des transferts d'herbicides en semis direct sur maïs. Sur blé, les résultats sont plus contrastés : ils sont concluants à La Jaillière et défavorables à Bignan. Dans le même sens, les premiers résultats d'un site expérimental de grande taille conduit par ARVALIS-Institut du végétal en partenariat avec l'ARAA et Syngenta à Geispitzen (68), indiquent que le non-labour sur maïs réduit de 55% le ruissellement et de 80% les transferts d'herbicides.

Deux parcelles drainées de l'essai "pratiques culturales et qualité des eaux" de La Jaillière* sont suivies depuis 1989. La parcelle T3, équipée d'un réseau de drainage et d'un piège à ruissellement est en labour. La parcelle T5, équipée d'un réseau de drainage est en non-labour (travail superficiel rarement accompagné d'un décompactage). A l'exception du travail du sol, les deux parcelles reçoivent chaque année la même culture (rotation maïs/blé) et les mêmes programmes de protection des cultures. Au cours des trois campagnes d'étude, les lames d'eau drainées ont été du même ordre de grandeur : 189 mm en labour et 172 mm en non-labour en 1996-97, 221 mm et 210 mm en 1997-98, avec néanmoins un drainage moins important en non-labour en 1998-99, 201 mm contre 278 mm.

Dans l'Ouest de la France, le ruissellement peut être dû à la battance, particulièrement au printemps, mais est généralement provoqué par la saturation en eau des sols à comportement hydromorphe en période hivernale. C'est du ruissellement par saturation.

Des flux faibles des produits appliqués au printemps

Dans le contexte pédoclimatique de La Jaillière, les transferts de résidus d'atrazine sont très faibles au printemps : le drainage et le ruissellement par saturation sont taris. A l'exception d'épisodes

30 ans avec les TSL

Les TSL sont apparues en France dans les années 70, mais il a fallu attendre les années 90 pour voir leur réel développement, en particulier en sols argilo-calcaires sur des rotations à base de cultures d'automne. A l'époque, l'organisation du travail et la volonté de baisser les charges de mécanisation ont grandement motivé cet essor. Entre le milieu et la fin des années 90, les TSL ont commencé à se développer sur des sols plus profonds avec des rotations incluant plus de cultures de printemps. Les motivations agronomiques ont aussi commencé à émerger, par exemple la réduction de la battance, du ruissellement et de l'érosion dans des sols sensibles à la dégradation structurale. A ce jour, le non labour représenterait environ 20% des surfaces de grandes cultures.

Transferts de molécules obtenus sur l'essai de La Jaillière

		Non-labour (T5) drainage	Labour (T3) drainage
1996-97	Q en mm	172	189
	Atrazine en mg/ha	1200	3378
	DFF en mg/ha*	173	65
1997-98	Q en mm	210	221
	Atrazine en mg/ha*	79	248
	DFF en mg/ha	30	3
1998-99	Q en mm	202	279
	Atrazine en mg/ha	469	1215
	Epoxiconazole en mg/ha*	81	121

*Produit phytosanitaire appliqué au cours de la campagne

Des différences de ruissellement significatives

Les essais réalisés à la station expérimentale de Kerguéhennec (Chambre d'Agriculture de Bretagne) depuis 2000 se situent sur des limons sablo-argileux, non hydromorphes, qui ont tendance à se prendre en masse. L'essai se situe en pente moyenne. L'implantation de cette expérimentation de longue durée remonte à la campagne 1999-2000. La rotation alterne maïs grain et blé. Des différences de comportement sont observées selon les techniques de travail du sol, tant en terme de ruissellement, de concentrations que de quantités de matières actives exportées. Les techniques sans labour (TSL) ont tendance en automne et en hiver, sous culture de blé, à induire une saturation rapide des sols, et donc à accroître les risques de transferts. Par contre, elles permettent un important retard dans la désagrégation de la surface du sol (présence d'un mulch, rugosité de surface) au printemps et en été, sous culture de maïs. Les quantités de matières actives exportées sont alors beaucoup plus élevées en labour. L'état hydrique du sol et ses propriétés physiques semblent déterminants pour expliquer les différences de ruissellement et, par là, de flux de matières actives. Ces mesures seront poursuivies car en TSL le sol peut évoluer avec les années. Dans les premières années et sous certaines conditions pédoclimatiques, les risques de ruissellement hivernal, et donc les transferts de produits phytosanitaires s'avèrent non négligeables en TSL. L'adoption de ces techniques doit dès lors s'accompagner de précautions techniques, comme le choix d'outils adaptés, la couverture du sol, la destruction mécanique des couverts, ou le choix de molécules appropriées.

Résultats des essais menés à la station expérimentale de Kerguéhennec (Chambres d'Agriculture de Bretagne) depuis l'année 2000.

		Non-labour (travail superficiel)	Labour
1999-2000 (maïs) ¹	Ruissellement en mm	1,1	24,1
	Sulcotrione en mg/ha	74,6	3170
2000-2001 (blé)	Ruissellement en mm	17,8	8,8
	Isoproturon en mg/ha	1916,4	44,5
2001-2002 (maïs) ²	Ruissellement en mm	1,7	15,7
	Sulcotrione en mg/ha	193,7	7492
2002-2003 (blé)	Ruissellement en mm	7,9	3
	Isoproturon en mg/ha	565	229

¹ Mesures sous pluies simulées, réalisées 3 semaines après le traitement herbicide (intensité 50 mm/h pendant 2h30).

² Mesures sous pluies simulées, réalisées 24 heures après le traitement herbicide (intensité 50 mm/h pendant 1 h).

orageux pouvant réamorcer le drainage avec de faibles écoulements, on constate que 91 à 99 % des transferts de cet herbicide ont lieu au cours de l'hiver qui suit son application, c'est-à-dire quand les parcelles sont cultivées en blé. Par exemple, en 1997-98, les transferts se sont produits avant l'implantation du maïs et proviennent de l'application d'atrazine de mai 1996. La comparaison des flux d'atrazine de la campagne 1996-97 à la sortie des deux parcelles montre que les transferts de la parcelle en non-labour sont en moyenne inférieurs de 64 % à ceux de la parcelle en labour. (figure 1). Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que l'herbicide est positionné dans un horizon de surface plus riche en matières organiques. La substance active est alors plus fortement fixée sur le complexe argilo-humique de la parcelle non labourée que sur celui de la parcelle labourée. De plus, l'activité biologique de cet horizon est probablement plus intense que celui de la parcelle labourée. La dégradation de l'herbicide présent dans la solution du sol est alors plus rapide.

Sur les trois campagnes d'étude, on constate une diminution de plus de 60 % des transferts d'atrazine en situation de non-labour pour des lames d'eau drainées comparables à celle de la parcelle labourée.

On observe un comportement similaire avec l'époxiconazole appliqué au printemps sur blé. Des résidus de cette matière active sont exportés au cours de la reprise du drainage en automne, avec cependant une baisse plus mesurée des flux en non-labour par rapport au labour.

Des flux plus importants des produits appliqués en automne

Le comportement des herbicides appliqués à l'automne est très différent. Le diflufenicanil (DFF) appliqué en au-



Le ruissellement de l'eau à la surface des parcelles est un vecteur de polluants pouvant altérer les eaux de surface.

tomne ou en hiver, juste avant ou pendant la saison de drainage, génère des flux plus importants en situation de non-labour. Comment expliquer ce phénomène ? En situation de non-labour stabilisé depuis plusieurs années, une modification de l'infiltration de l'eau est observée, due à la présence plus importantes de macropores. Lors des premiers épisodes de drainage, les relevés effectués par ARVALIS - Institut du végétal mettent en évidence des volumes d'eau drainée globalement plus im-





détruit les circuits préférentiels formés en été comme les fentes de retrait. L'infiltration de l'eau est plus lente. Il est vraisemblable au contraire que les circuits préférentiels continus (galeries de vers de terre ou racines, fissures) permettent un transfert plus rapide de l'eau vers les réseaux de drainage en non-labour.

Adapter le travail du sol au risque de ruissellement

Dans les situations où les pluies tombent à une intensité élevée (orages ou fortes averses observées en été ou au printemps), le ruissellement hortonien est favorisé par l'apparition d'une croûte de battance et par la faible rugosité à la surface du sol. Toutes les mesures visant à limiter la terre fine produite, à maintenir la rugosité du sol (couverture du sol par les débris végétaux, absence de roulage, efface traces derrière les roues du semoir,...) sont à privilégier. Le *tableau 4* liste des solutions aux transferts de molécules en rotation maïs/blé en sol de limon de schiste.

En cas de fort cumul de pluies hivernales, du ruissellement par saturation peut apparaître sur sol tassé, pris en masse ou hydromorphe. Ce ruissellement diffus n'est pas toujours facile à observer : il est moins spectaculaire que le ruissellement hortonien qui est souvent associé à de l'érosion. Pourtant, il peut être facilement limité, par exemple en évitant de laisser un chantier de récolte avec de nombreux passages de roues. En sol hydromorphe, le travail profond (labour, décompactage sur 20-30 cm), avec la porosité créée, peut aussi favoriser l'infiltration de l'eau en profondeur et augmenter ainsi la capacité de stockage d'eau avant saturation (*tableau 3*).

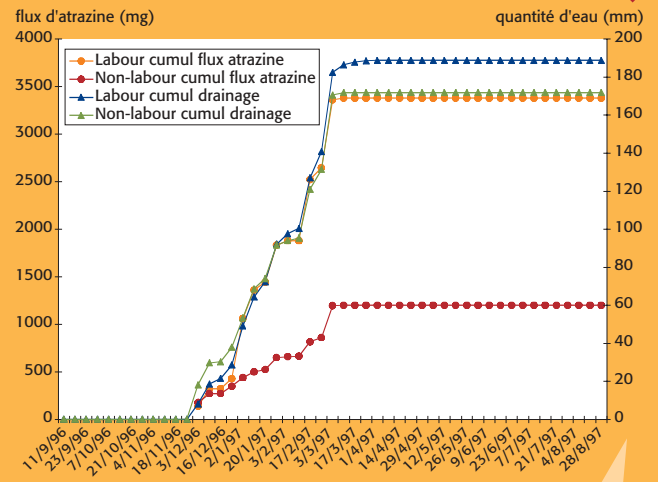
Sur trois campagnes d'étude, on constate au printemps une diminution de plus de 60 % des transferts d'atrazine en situation de non-labour.



portants en non-labour qu'en labour : 18 mm contre 10,5 mm en 1996-97 et 9,9 mm contre 6,3 mm en 1997-98. D'autre part, si, lors de ces premières pluies, les concentrations en DFF étaient du même ordre de grandeur en 1997-98, elle était 5 fois plus élevée en non-labour en 1996-97.

Un volume écoulé plus important, une concentration aussi importante - voire plus élevée - expliquent des transferts plus conséquents (*tableaux 3 et 4*). Dans la parcelle labourée, le premier horizon joue un rôle d'éponge homogène qui se remplit sur l'ensemble du profil avant de laisser l'eau s'infiltrer en profondeur. L'action de la charrue a

Cumuls quantité (drainage en mm) et flux atrazine T3 et T5 1996-1997 sur le site de La Jaillière (44) 1



Impact des pratiques agricoles sur les transferts de produits phytosanitaires Période automnale et hivernale

SOL DE LIMON SUR SCHISTE DE L'OUEST DE LA FRANCE, ROTATION MAÏS - BLÉ

3

Risque de transfert Période automnale-hivernale	Traitement concerné	Solutions proposées
<p>Risque important de transfert rapide par drainage. Risque par ruissellement en sol hydromorphe notamment. Ce risque est cependant atténué dans le cas du glyphosate appliqué sur un couvert développé (peu de produit arrive au sol).</p> <p>Le non-labour risque d'accroître le transfert par drainage ainsi que par ruissellement par saturation.</p>	Désherbage blé (15/11-15/3)	<ul style="list-style-type: none"> Il est impossible de désherber le blé à une autre période. Pour limiter les transferts, il est conseillé de choisir des molécules peu mobiles ou appliquées à faible dose. Ce choix est d'autant plus important en non-labour. En non-labour, un itinéraire incluant un décompactage sur 20 cm combiné au semis du blé peut limiter le ruissellement par saturation (plus de capacité de stockage d'eau dans la porosité du sol) et les transferts par des voies préférentielles. Cela est particulièrement important en cas de tassement lors de la récolte du précédent.
	Destruction du couvert avant maïs (1/2-15/3)	<ul style="list-style-type: none"> Un couvert végétal est très efficace pour prévenir l'apparition de la battance lors de l'interculture et ainsi limiter le ruissellement. Privilégier les couverts faciles à détruire (moutarde, phacélie, tournesol) et une destruction mécanique (déchaumage, broyage) en l'absence de gel. En non-labour, la culture intermédiaire peut aussi être détruite chimiquement en vue de semer le maïs sous couvert. Peu de produit arrivera au sol sous un couvert développé. La forte couverture du sol sous maïs permettra par la suite une lutte très efficace contre le ruissellement et l'érosion, dans les pentes notamment. Une application d'herbicide total quelques jours avant le semis n'est justifiée qu'en cas de vivaces (type avoine à chapelets) ou de semis sans labour (pour contrôler des adventices qui nécessiteraient un recours accru aux herbicides dans la culture).
	Désherbage avant semis du blé (20/10-15/11)	<ul style="list-style-type: none"> Les herbicides totaux ne sont pas justifiés avant labour. En semis simplifié, une application peut être justifiée pour détruire des adventices qui nécessiteraient un recours accru aux herbicides dans la culture.



La couverture du sol par des débris végétaux contribue à maintenir la rugosité du sol et à limiter le ruissellement hortonien.

Pour piéger le ruissellement, l'aménagement parcellaire est aussi très important. La modification du parcellaire, lors des remembrements par exemple, a pu générer du ruissellement dans des régions où le phénomène était peu présent. Certaines mesures simples peuvent être adoptées pour le réduire, comme l'aménagement d'une bande enherbée de 5 à 10 m en bordure de cours d'eau ou de fossé. Les talus des fossés doivent rester végétalisés et entretenus mécaniquement. Lorsque le ruissellement est fréquent, un aménagement du parcellaire s'impose : il passe, par exemple, par l'implantation en alternance d'une culture d'automne et d'une culture de printemps le long d'une pente. Des zones "tampon" (enherbement, fossés ou haies) peuvent également être placées en travers des pentes et dans des talwegs pour limiter le ruissellement ou les ravines.

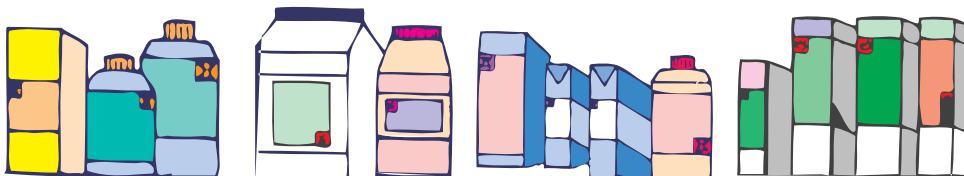
Enfin, il ne faut pas oublier l'incidence du pH sur la stabilité structurale du sol. En cas de besoin, il faudra procéder à des apports d'amendement calcique (calcaire, chaux,...) en régime d'entretien ou de redressement. ■

Impact des pratiques agricoles sur les transferts de produits phytosanitaires Période printanière et estivale

SOL DE LIMON SUR SCHISTE DE L'OUEST DE LA FRANCE, ROTATION MAÏS - BLÉ

4

Risque de transfert Période printanière-estivale	Traitement concerné	Solutions proposées
<p>Risque de transfert minime par drainage à cette période. Risque de ruissellement important en sol battant et dans les pentes.</p> <p>Le non-labour réduit le ruissellement et les transferts par drainage l'hiver suivant.</p>	Désherbage maïs	<ul style="list-style-type: none"> En cas de pentes favorisant le ruissellement en sol battant, en itinéraire de semis du maïs avec labour, l'absence de couverture du sol peut être partiellement compensée par quelques mesures : préparation sur labour en un seul passage sans outil animé (faire moins de terre fine), s'équiper d'effaceurs de traces derrière les roues du semoir et ne pas rouler après le semis (pour maintenir de la rugosité), biner (pour casser la croûte de battance). Afin de préserver la teneur en matières organiques des sols, il est souhaitable de limiter la profondeur des labours à 20 cm. En itinéraire de semis du maïs sans labour, plus la couverture du sol sera importante, moins la battance, le ruissellement et l'érosion seront importants. Les itinéraires techniques, qui laisseront une couverture du sol plus ou moins forte, peuvent être choisis selon le risque de ruissellement (pentes, parcellaire, battance, climat...). A titre d'exemple, un itinéraire en semis sous couvert laisse fréquemment une couverture du sol 2 à 4 fois plus forte que celle obtenue sur un sol retravaillé superficiellement au printemps. Le non-labour pratiqué à long terme permet, par ailleurs, une concentration en matières organiques en surface favorable à l'infiltration de l'eau sous maïs. Le semis du maïs en écartement réduit (semoirs à semis direct pour céréales) permet, par une couverture du sol plus régulière (pas d'inter-rang nu), de limiter le ruissellement.



* : le site de La Jaillière ainsi que les sites ARVALIS - Institut du végétal de Parisot (Tarn), du Magneraud (Charente-Maritime) et de Geispitzen (Haut-Rhin) regroupent au sein du Groupement d'intérêt scientifique "pratiques culturales et qualité des eaux" ARVALIS - Institut du végétal, l'Inra, le Cemagref, l'Université d'Angers, l'ESA, l'ENSAT et le Cetiom.