

Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles : natures, sources et mécanismes de transfert

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

I. Généralités: qualité de l'eau, multiplicité des polluants et des comportements

La qualité de l'eau est généralement évaluée par deux aspects :

- la **qualité physico-chimique**,
- la **qualité écologique**.

Ceci pour prendre en compte trois exigences majeures des sociétés humaines : 1) disposer d'eau en quantité suffisante pour l'alimentation, les usages domestiques, industriels et agricoles, 2) faire en sorte que cette eau soit sans danger pour ces différents usages, 3) préserver les milieux aquatiques incluant la faune et la flore qui y vivent.

Des textes réglementaires fixent les teneurs maximales à respecter pour les eaux brutes. Des valeurs guides sont aussi proposées pour respecter la faune et la flore présentes dans les écosystèmes aquatiques et maintenir le bon état fonctionnel des rivières. En Bretagne, l'accent est mis sur les polluants d'origine agricole qui sont certainement les sources de pollution parmi les plus importantes dans cette région (Observatoire de l'eau, 2004). Le tableau 1 donne quelques valeurs seuils indiquées dans la réglementation.

Tableau 1 : Limites de qualité des eaux brutes destinées à la fabrication d'eau potable (Arrêté du 11 janvier 2007) et objectifs de qualité donnés par la DCE (DCE n° 2005-12 du 28/07/05 décret relatifs aux objectifs qualité des masses d'eau superficielles). Les concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs citées ou comprises dans les limites indiquées.

Paramètre	Valeur limite impérative	Valeur guide pour les eaux douces superficielles
Nitrates	50 mg/l	25 mg/l
Nitrites	0,1 mg/l	0,05 mg/l
Ammonium	0,5 mg/l	
Produits phytosanitaires	0,1 µg/l par substance 0,5 µg/l pour le total des substances mesurées	
Phosphore	5 mg/l de P ₂ O ₅	0,4 mg/l de P ₂ O ₅
Cuivre	1 mg/l de Cu	0,02 mg/l de Cu
Zinc	5 mg/l de Zn	0,5 mg/l de Zn

Les substances susceptibles de polluer les eaux des bassins versants agricoles se regroupent en deux catégories : 1) les substances utilisées en agriculture pour amender le sol (engrais, déjections sources de nitrates mais aussi de métaux lourds, de phosphore, de bactéries, ...) ou pour protéger les cultures (produits phytosanitaires et adjuvants associés) ; 2) les substances naturellement présentes dans les sols, et susceptibles de se solubiliser et d'être transférées dans les eaux (matières organiques). Les substances en question ne sont pas des polluants au départ, mais c'est leur surabondance dans les eaux qui en fait des polluants.

Les substances utilisées en agriculture et pouvant devenir des polluants de l'eau sont multiples. Ces substances atteignent d'abord le sol où leur comportement vis à vis du milieu va déterminer leur dispersion vers d'autres compartiments (air, eau). Leur proportion à polluer fortement et durablement les eaux dépend de leurs caractéristiques physico-chimiques, et notamment de leur mobilité¹ dans les compartiments sol et eau, de leur persistance si elles se dégradent, de leur temps de transfert si elles migrent vers les nappes. Ces caractéristiques, combinées avec celles du milieu, permettent la constitution d'un stock dans le sol ou la nappe. L'eau comme les polluants peuvent être caractérisés par un temps de résidence moyen (figure 1).

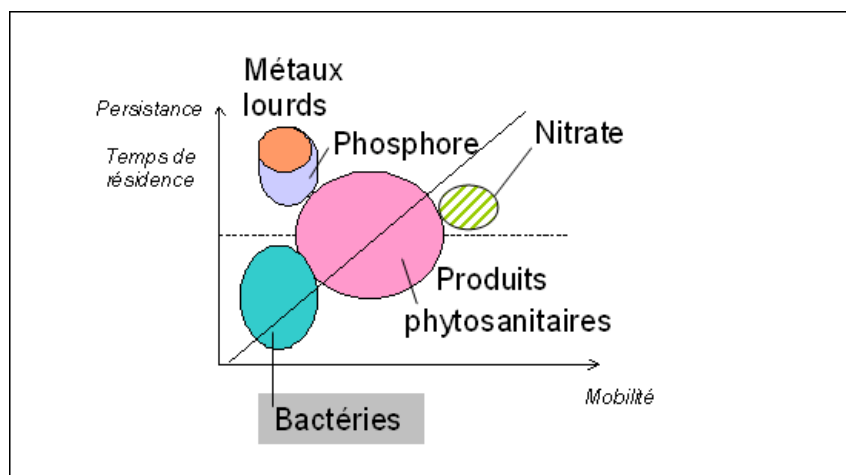


Figure 1 : En fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques, les polluants rencontrés en Bretagne sont différents en terme de mobilité, de persistance ou de temps de résidence (aire unie : dans le sol, aire hachurée : dans la nappe).

Les substances naturellement présentes dans les sols et susceptibles de devenir des polluants, parce que susceptibles d'être déplacées en grande quantité vers les eaux sont principalement les matières organiques. La mise en solution des matières organiques du sol et leur transport vers les eaux est la résultante d'un ensemble de processus de désorption-adsorption, solubilisation, dégradation, transport ..., déterminés par les conditions du milieu (température, humidité, pH, activité biologique) et les caractéristiques physiques du sol (perméabilité). Les stocks de matières organiques du sol susceptibles d'être déplacés sont principalement situés dans les zones de fonds de vallée. là où la nappe peut atteindre les horizons organiques du sol.

La résilience des cours d'eau, c'est-à-dire leur capacité à retrouver un état non pollué peut être très grande. Elle dépend de l'importance des polluants accumulés dans les sols et les nappes, des dynamiques qu'elles peuvent subir par exportation, par les cultures par exemple, ou par transfert ou biotransformation vers l'eau ou l'atmosphère.

Suivant les polluants, il y a **deux stocks à considérer** :

- le **stock du sol** est constitué par des polluants persistants, c'est à dire les polluants peu solubles et de durée de vie longue. Cette durée de vie est la résultante d'un ensemble de processus de rétention, déterminés par les conditions du milieu (température, humidité, pH, activité biologique). Le polluant persistant s'accumule dans le sol en grande quantité : un stock au sens strict du terme est alors constitué. C'est le cas des **métaux lourds** et du **phosphore** qui sont peu transformés et sont principalement stockés dans le sol.

- le **stock de la nappe** est constitué par les polluants solubles et persistants qui migrent en profondeur avec les eaux de pluie. Ces polluants sont ensuite évacués vers la rivière par vidange de la nappe. C'est donc une quantité qui se déplace et transite. Si un polluant est présent longtemps et de manière mesurable dans la nappe, c'est que les vitesses en jeu sont très faibles. Du fait de ce renouvellement de l'eau très lent, la quantité de polluant présent à un moment donné dans la nappe est assimilée par abus de langage à un stock.

Au final, on distingue les substances susceptibles de polluer les eaux des bassins versants agricoles suivant leur forme, leur comportement et leur temps de résidence.

Les produits phytosanitaires sont plus ou moins mobiles selon les caractéristiques des molécules. Leur persistance est variable comprise le plus souvent entre quelques jours et plusieurs mois. Il n'y a généralement pas constitution d'un stock. Les métabolites issus de la dégradation des molécules mères peuvent avoir une persistance beaucoup plus grande. Ils sont aussi par nature des polluants.

Les nitrates sont très mobiles du fait de leur forme chimique (anions). S'ils ne sont pas consommés par la végétation ou réorganisés dans la matière organique du sol, les nitrates peuvent migrer dans les nappes où ils peuvent devenir persistants (plusieurs années voir dizaines d'années). Une partie du stock peut disparaître par dénitrification dans les zones humides ou les nappes. Associés au phosphore, ils entraînent l'eutrophisation des eaux douces et sont à l'origine de la prolifération d'algues vertes sur le littoral.

La matière organique dissoute devient un enjeu pour la potabilité de l'eau dans certains bassins versants. Les matières organiques d'origine animale apportées au sol en tant que fertilisant sont pour la plus grande part rapidement minéralisées (c'est-à-dire transformées en CO₂) et ne sont donc pas impliquées dans la pollution. Les matières organiques d'origine végétale, présentes naturellement dans le sol, sont vraisemblablement à l'origine de la pollution. Ces matières organiques sont peu mobiles en règle générale, étant fixées sur la phase minérale du sol. Cependant, elles peuvent devenir mobiles lors des épisodes pluvieux, notamment dans les zones humides de fonds de vallée où se trouvent les principaux stocks.

Le phosphore est peu mobile et persistant. Tout apport excédentaire par rapport aux cultures reste dans le sol, où se constitue des stocks. Il est facilement fixé sur les particules de sol et déplacé par l'eau préférentiellement sous forme particulaire. Il détermine l'eutrophisation des eaux douces et participe à l'eutrophisation des eaux littorales, au développement de booms de cyanobactéries et d'algues dans certains estuaires et sur le littoral.

Les métaux lourds ou éléments traces métalliques (ETM) tels que le cuivre (Cu) ou le zinc (Zn), présents dans les effluents d'élevage, sont comme le phosphore, peu mobiles et très persistants : ils s'accumulent dans les sols avec des risques écotoxicologiques pour les organismes du sol et les plantes cultivées. Ils sont aussi très abondants dans le ruissellement urbain.

Les sources de pollution dans les bassins versants agricoles sont forcément diffuses. Le contrôle de telles pollutions est difficile du fait de l'impossibilité d'édicter des mesures réglementaires limitant les importations et/ou les excédents en tout lieu du bassin versant, de limiter des fuites qui sont parfois très faibles au regard des quantités appliquées.

Dans tous les cas, ces nutriments, devenus polluants de part leur quantité élevée, sont des éléments associés à l'eau même si les mécanismes régissant leurs transferts et leurs stocks dans l'environnement sont très différents. Les sections suivantes vont décrire, polluant par polluant, les formes, sources et stocks de ces différentes substances ainsi que la forme prépondérante sous laquelle elles circulent dans un bassin versant.

¹ Dans les sols, la mobilité d'une substance est mesurée par le K_d , souvent exprimé en valeur relative / MO par le K_{oc} , qui représente le coefficient de distribution de cette substance entre l'eau et le sol rapporté à la teneur en matière organique du sol considéré.

Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles : natures, sources et mécanismes de transfert

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

II- Produits phytosanitaires

1- Nature chimique des produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires comprennent une large gamme de molécules¹, plus ou moins solubles et mobiles selon les caractéristiques physico-chimiques des produits et notamment leur K_{oc} ², coefficient d'affinité de la molécule vis à vis du sol. On les classe généralement en trois groupes selon leurs caractéristiques environnementales de mobilité (quantifiées par le K_{oc}), leur persistance (par la demi-vie³) et les doses appliquées. On les classe aussi selon leur impact potentiel sur l'homme, par la toxicité, et sur l'écosystème, par l'écotoxicité.

2- Le transfert des produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires peuvent être transportés sous forme dissoute ou adsorbés sur les matières en suspension (MES) selon :

- les propriétés d'adsorption de la molécule sur la phase solide (c'est à dire le K_{oc}),
- la nature et la concentration des matières en suspension présentes dans l'écoulement.

La répartition entre les deux formes de transport dépend donc de la molécule et du contexte. Hors des périodes pluvieuses, le transport s'effectue essentiellement sous forme soluble du fait de la faible charge en matières en suspension (MES) des eaux de nappe qui alimente les rivières, de la faible érosion dans le cours d'eau pendant ces périodes. Les flux correspondant à ces situations restent faibles, du fait de la faible teneur

en produits phytosanitaires des nappes. Pendant les périodes pluvieuses, le transport s'effectue sous forme particulaire et dissoutes, du fait de la capacité des eaux de ruissellement à mobiliser de grandes quantités de MES, de la mise en charge des nappes superficielles. Les flux correspondant à ces situations peuvent être forts dans la mesure où les particules de surface stockent une grande partie des produits phytosanitaires.

Le transfert des pesticides est fonction :

- des quantités appliquées,
- de l'intervalle entre l'application et l'évènement pluvieux important qui lui succède,
- des conditions environnementales (températures, humidité, activité biologique), qui accélèrent ou non la dégradation des molécules.
- des états de surface du sol et de l'état hydrique du BV.

Le risque de transfert d'un produit est donc maximal juste après l'application. Il est ensuite difficile de prévoir l'évolution des transferts des molécules, le stock présent dans le sol étant très dépendant des conditions pédoclimatiques.

• Les mécanismes de transfert.

Cinq mécanismes principaux de transfert vers les eaux peuvent être identifiés :

- la **dérive** lors de la pulvérisation,
- la **volatilisation**, dont l'intensité est variable en fonction des propriétés physico-chimiques des molécules et des conditions climatiques au moment et dans les jours suivant l'application,
- le **drainage artificiel** par des drains enterrés qui sont alimentés par les nappes superficielles se formant pendant les épisodes pluvieux, ou par de l'eau s'infiltrant par les tranchées de drainage,
- les **transferts latéraux de nappe**, à proximité de la surface de la nappe,
- le **ruissellement** de surface (figure 2).

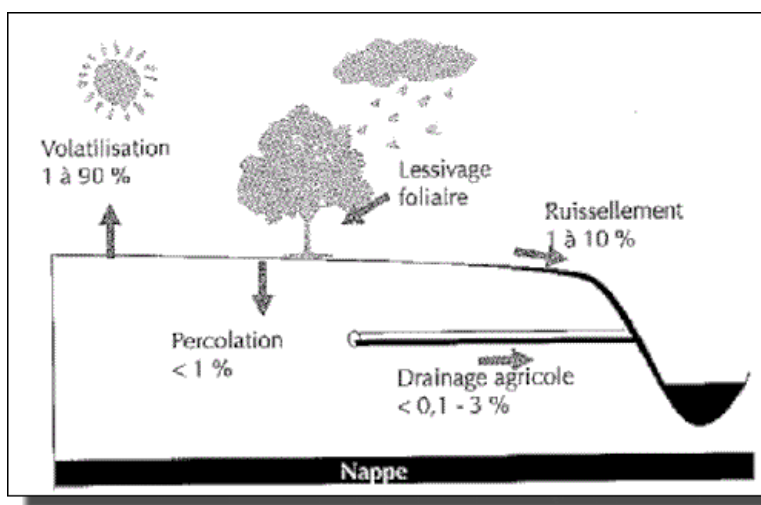


Figure 2 : Principaux mécanismes de transfert des produits phytosanitaires appliqués. Extrait de Voltz et al., 2001. On notera que le transfert vers les eaux arrive loin derrière le transfert vers l'atmosphère par volatilisation.

Une faible fraction des molécules (moins de 1% du total en général) peuvent être retrouvés dans les nappes du fait de voies de circulation préférentielle ou de cheminements directs entre la surface du sol et la nappe. Les taux d'exportation restent faibles, de quelques pourcents et concernent surtout les bas de versant où la nappe est peu profonde. Les plus forts taux d'exportation sont observés pour les ruissellements de surface où la concentration de l'eau peut atteindre 1 mg/l (la norme de potabilité est fixée à 0,1 µg/l).

• L'évolution des produits phytosanitaires pendant le transfert.

Les produits phytosanitaires une fois au sol se dégradent par plusieurs mécanismes : transformation par les micro-organismes qui en utilisent les composés carbonés (ou biodégradation), photolyse, précipitation, ... Ces transformations fragmentent les molécules initiales, donnant des métabolites ou produits de dégradation. Leur toxicité et leur comportement dans le sol sont différents de celui de la molécule mère.

3- Le stock de produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires ne s'accumulent généralement pas dans les sols sur le long terme puisque les demi vie des produits excèdent rarement une centaine de jours et sont très souvent inférieures. Le stock de produits phytosanitaires est donc faible en comparaison des applications annuelles. Ils restent mal connus car les métabolites sont rarement mesurés dans les sols.

¹ La liste des produits homologués est disponible sur <http://e-phy.agriculture.gouv.fr>
² Le Koc représente le coefficient de distribution entre l'eau et le sol d'une substance rapporté à la teneur en matière organique du sol considéré (these de thiollet p16 ou 20). Il mesure indirectement la mobilité d'une substance dans un sol donné)
³ Demi-vie : nombre de jours nécessaires à la dégradation dans le sol de la moitié des substances actives

**Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles :
natures, sources et mécanismes de transfert**

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

III- Nitrates

1- Nature chimique

Les nitrates sont très solubles dans l'eau. Chargés négativement, ils ne sont pas retenus par le complexe argilo-humique du sol. Ils sont donc véhiculés à 100 % sous forme dissoute.

2- Le transfert des nitrates

Les nitrates n'étant pas retenus par le sol, ils migrent verticalement vers la profondeur (lixiviation) et contaminent la nappe qui les stocke. L'essentiel du transfert des nitrates vers la rivière se fait par écoulement de nappe. La proportion de nitrates véhiculée par le ruissellement (qui représente moins de 5 % du débit de la rivière à l'échelle de l'année) est comparativement très faible.

Des abattements par rapport aux apports existent cependant du fait de :

- l'absorption par les végétaux,
- l'incorporation dans la matière organique par les microorganismes du sol,
- la dénitrification qui les transforme -si les réactions sont complètes- en azote gazeux N_2 . Cette suite de réactions ne se produit que dans certaines conditions particulières (absence d'oxygène, présence de carbone assimilable, présence de sulfures ...)

Le stock de nitrate dépend donc des apports et des transformations qui affecte ses apports. Le nitrate est un composé qui peut s'épuiser par exportation et/ou transformation. Si les apports sont supérieurs aux exportations et aux transformations, il peut cependant y avoir constitution de stocks.

3- Sources et stock de nitrates

Contrairement aux produits phytosanitaires, les nitrates sont présents naturellement dans la pluie et le sol, notamment du fait de la minéralisation de la matière organique et de la nitrification de l'ammonium (figure 3) : les nitrates sont une des formes de l'azote présent dans les sols. En présence d'oxygène, les nitrates sont la forme minérale la plus stable dans le sol. Ils évoluent vers d'autres espèces chimiques lorsque les conditions du milieu varient (absence d'oxygène notamment).

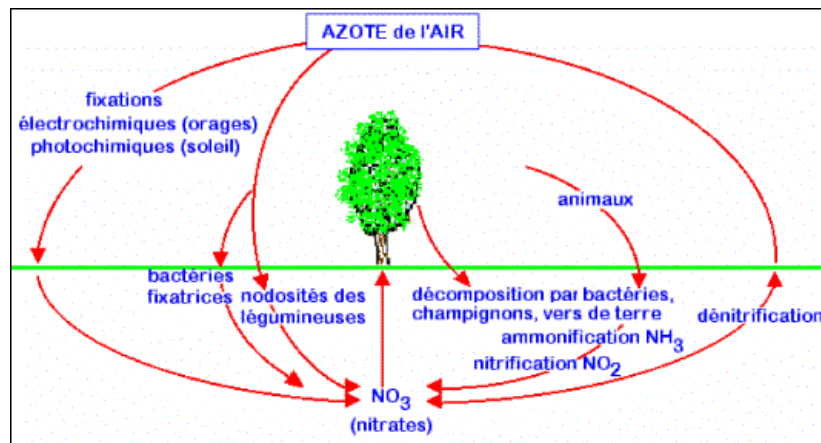


Figure 3 : Le cycle de l'azote. Extrait de Aguesses, 1971.

Cependant, dans le cas de sols agricoles, les engrais et les déjections apportées aux cultures sont une source d'azote supplémentaire. Cette source supplémentaire peut induire des flux de composés azotés bien supérieurs aux flux liés au sol.

L'azote des engrais minéraux se présente sous forme de nitrate ou d'ammonium, deux formes très facilement assimilables par les plantes. Dans des conditions de pratiques normales, l'azote des engrais minéraux est assimilé dans l'année par la culture en place. Une application mal maîtrisée peut cependant conduire à des excédents de nitrate dans le sol, lesquels peuvent migrer vers les nappes ou les eaux de surface entraînant leur pollution.

L'azote des déjections animales est incorporé dans des molécules organiques. Il n'est pas directement assimilable par les plantes. La libération du nitrate se fait par minéralisation progressive de la matière organique, ce qui peut engendrer des arrières effets perceptibles les années suivant les épandages, du fait du caractère lent du processus de minéralisation. Les déjections apportées sont de différentes natures (lisiers, fumiers, fientes sèches) et d'origines animales variées (bovins, porcs, volailles, ...). Comme dans le cas des engrais minéraux, des apports excessifs de déjections animales au sol peuvent conduire à des excédents de nitrates et à des pollutions des nappes et des eaux de surface.

Au final, le stock annuel de nitrates dans le sol est lié :

- à la minéralisation de la matière organique en surface qui libère des nitrates,
- aux excédents des apports par rapport aux besoins des cultures.

Ce stock est facilement entraîné par les pluies (lessivage). L'historique des pratiques agricoles sur la parcelle et le bassin versant permettent ainsi d'évaluer le stock pluri-annuel de la nappe. Ce stock peut contribuer très significativement aux flux de nitrates dans la rivière, par comparaison aux apports annuels.

On peut ainsi distinguer deux types de bassins versants :

- les bassins versants dont les apports sont globalement consommés par la végétation. L'excédent en nitrate est nul ou faible. La nappe ne s'enrichit pas en nitrate.

- les bassins versants dont le bilan annuel de nitrate est excédentaire du fait d'apports répétés de quantités de nitrate supérieures au besoin des cultures. Ces bassins versants ont vu la teneur en nitrate de leur nappe augmenter du fait de l'entraînement en profondeur des nitrates excédentaires présents chaque année, celle-ci pouvant continuer d'augmenter encore aujourd'hui si les apports n'ont pas été maîtrisés. Ces cas sont les plus fréquents en Bretagne.

Plusieurs études ont été conduites pour quantifier les stocks d'azote en excès dans les bassins versants de ce deuxième type et les temps mis par cet azote pour être transférés vers les rivières sous forme de nitrates. Sans entrer dans le détail des méthodes et calculs, certaines conclusions peuvent être tirées de ces études :

- l'azote appliqué sur un bassin versant au cours d'une année n'est que faiblement restitué dans la rivière l'hiver suivant son application (comme on l'a longtemps cru). L'azote (des déjections, des engrais ou de la minéralisation de la matière organique) met plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années pour transiter dans la nappe puis vers la rivière du fait de sa réorganisation dans la matière organique mais aussi des temps de transferts très longs vers la nappe (voir chapitre 2).

- la quantité d'azote restituée à la rivière une année donnée est conditionnée par la pluviosité annuelle (stockage de l'azote en année sèche, libération en année humide) et à leur alternance dans le temps.

- du fait des temps de résidence de l'eau dans le sol et le sous sol importants, la mesure des concentrations à l'exutoire d'un bassin versant n'est pertinente pour évaluer l'évolution du paramètre nitrate dans les cours d'eau, que si elle s'inscrit sur le long terme.

- un indicateur complémentaire serait l'estimation des changements de pratiques agricoles (fertilisation raisonnée, apports fractionnés, mise en place d'aménagements), autant d'actions qui auront un impact durable mais non immédiat sur les concentrations et flux de nitrates¹.

Voir également le chapitre dédié sur le site de l'[observatoire de l'eau en Bretagne](#).

¹ La concentration est une mesure instantanée. Multipliée par le débit de la rivière, elle donne un flux, c'est à dire une quantité de nitrate transmise à l'aval.

Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles : natures, sources et mécanismes de transfert

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

IV- Phosphore

1- Nature chimique

On distingue en général deux formes de phosphore dans l'eau :

- le phosphore dit dissous, qui passe par un filtre de 0,45 µm,
 - le phosphore particulaire (tout le reste),
- l'ensemble constituant le phosphore total.

La fraction dissoute du phosphore comprend les ions orthophosphates des molécules organiques et le phosphore lié aux petites molécules organiques. La fraction particulaire regroupe le phosphore combiné aux oxydes de fer et aux argiles, le phosphore associé aux débris organiques grossier et le phosphore constitutif des minéraux phosphatés. La distinction phosphore soluble / phosphore particulaire ne recouvrant pas une réalité chimique homogène, il est souvent difficile de comparer les résultats issus d'études différentes sur ces seules bases.

2- Le transfert du phosphore

Le phosphore est majoritairement transféré du sol aux eaux sous forme particulaire (souvent 50 à 90 % du phosphore total véhiculé). Le phosphore émis par des territoires agricoles est de ce fait principalement transféré dans les cours d'eau lors des épisodes de crue, périodes pendant lesquelles le ruissellement mobilise et entraîne les particules solides du sol. Les concentrations pendant les crues peuvent atteindre entre 15 à 50 fois celles mesurées hors crue. Cependant, ces valeurs sont très variables selon les bassins versants. Bien que moins important, le phosphore dissous mérite une grande attention, car il constitue une forme biodisponible du phosphore, c'est-à-dire une forme directement assimilable par les organismes vivants, donc très directement impliquée dans l'eutrophisation des eaux.

3- Le stock de phosphore

Le stock régional de phosphore total dans les sols de Bretagne est estimé avec une assez grande incertitude du fait de la méthode de calcul indirecte utilisée. Il est estimé entre 8 et 12 millions de tonnes (exprimé en P). L'imprécision vient du fait des incertitudes pesant sur les apports et les exportations. A titre d'exemple, les apports annuels de phosphore agricole sur les sols ont été estimés à 86 000 tonnes de P pour la Bretagne en 2000 (< 1/100 du stock).

L'excédent du bilan est estimé à environ 30 000 tonnes par an en prenant en compte les besoins des cultures (environ 56 000 tonnes de P par an) et le phosphore domestique apporté sur les sols (boues de station). Ce phosphore excédentaire contribue à l'augmentation du stock de phosphore dans les sols (Conseil scientifique régional de l'environnement, 2003).

Voir également le chapitre dédié sur le site de l'[observatoire de l'eau en Bretagne](#).

Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles : natures, sources et mécanismes de transfert

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

V- Matière organique dissoute

1- Nature de la matière organique

La matière organique est un terme générique qui regroupe un très grand nombre de molécules, issues pour la plupart du monde vivant et se trouvant dans un état de décomposition plus ou moins avancée. Les molécules constitutives du compartiment organique des sols et des eaux ne sont généralement pas distinguées les unes des autres. Leur abondance est décrite globalement par la concentration du sol ou de l'eau en "carbone oxydable" ou "carbone organique", qui est le constituant majeur des matières organiques. La matière organique est également décrite par son rapport carbone / azote ou C/N qui détermine son degré de décomposition, un faible rapport C/N indiquant un cycle court de la matière organique. Comme pour le phosphore, on distingue

souvent la matière organique dissoute de la matière organique particulaire avec des réalités chimiques très diverses au sein de ces deux groupes. Cette distinction permet cependant d'associer à ces deux groupes des modes de transfert différents.

2- Le transfert de la matière organique

La matière organique qu'elle soit dissoute ou particulaire est transférée au cours d'eau principalement pendant les épisodes de crue. Ceci s'explique par le fait que les matières organiques se complexant fortement avec la matrice argileuse du sol et étant contenues dans les premiers cinquante centimètres du sol, il faut qu'il y ait écoulement de l'eau dans ces premiers centimètres pour qu'il y ait transfert, situation qui ne se réalise que pendant les crues. Les concentrations maximales en matières organiques sont donc pendant les crues. La persistance des nappes dans les horizons organiques du sol pendant la période hivernale peut également conduire à des transferts, mais limités dans ce cas à des matières organiques dissoutes. En termes de bilan, les transferts de matière organique dissoute représente souvent 70% du total transféré aux rivières. Quoi qu'il en soit, ce sont les matières organiques dissoutes qui posent problème lors du traitement et ce sont donc elles dont il convient de limiter le transfert. Il n'y a pas de transfert de matière organique vers les nappes, dont les concentrations en matières organiques restent toujours très faibles.

3- Le stock de matière organique

Le stock de matière organique est localisé dans les cinquante premiers centimètres du sol où la teneur est en moyenne de 4 % même si de très fortes variations existent en Bretagne.

Ce stock est constitué pour une grande part de l'accumulation dans le sol des résidus végétaux. L'âge de la matière organique accumulée peut être très ancien, dépassant la centaine d'année. Ce stock bénéficie aussi des apports de déjections animales au sol qui contribuent à en maintenir la taille. Une très faible partie (moins de 1/1000^{ème} du stock) de cette matière organique est mobilisée chaque année sous forme dissoute et exportée vers les rivières. Des études réalisées en Bretagne et ailleurs dans le monde montrent que la matière organique exportée des sols sous forme dissoute a un âge supérieur à 100 ans, excluant tout rôle direct des apports de déjection animale au sol. Comme pour les produits phytosanitaires, des changements brutaux dans les conditions hydrologiques ou physico-chimiques régnant à l'interface eau-sol peuvent entraîner de fortes pollutions.

Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles : natures, sources et mécanismes de transfert

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

VI- Métaux lourds

1- Nature chimique

Les éléments traces métalliques sont présents dans le sol sous des formes chimiques très variées dépendant de la composition du sol et des conditions du milieu. La part présente en solution dans le sol (sous forme ionique) ne représente qu'une faible proportion de la quantité totale, les métaux lourds étant surtout associés à la matrice organo-minérale solide du sol.

2- Le transfert des métaux lourds

L'association des métaux lourds à la phase solide du sol fait que ceux-ci sont en règle générale très peu entraînés vers les nappes. Ils sont aussi faiblement entraînés vers les eaux de rivières, sauf en période de crue lorsque que la charge en matière en suspension issue de l'érosion des sols s'accroît. Toutefois des processus de remobilisation sont possibles notamment lors de changements des conditions oxydo-réductrices du milieu qui peuvent accroître la proportion de métaux sous forme d'ions libres, accroissant par la-même leur mobilité.

Les transferts de métaux lourds ont été peu étudiés et peu de chiffres sont disponibles, la difficulté résidant notamment dans les différentes formes que prennent ces éléments traces, rendant complexe le suivi de leur évolution dans les sols et dans l'eau. Deux mécanismes principaux peuvent être mentionnés :

- le transfert par érosion ou ruissellement pour les éléments métalliques associés aux particules solides.
- le transfert vers l'eau suite à des modifications des conditions du milieu (oxydoréduction)

3- Le stock de métaux lourds

Aujourd'hui, les apports annuels de cuivre et de zinc - les deux principaux métaux lourds apportés aux sols par l'agriculture, notamment par l'alimentation des animaux - sur l'ensemble des sols bretons sont de 400 tonnes de cuivre métal et de 700 tonnes de zinc métal par an. Les stocks seraient de 15 000 tonnes de cuivre métal et entre 15 000 et 20 000 tonnes de zinc métal pour l'ensemble de la Bretagne (Conseil scientifique régional de l'environnement, 2003). Bien que peu d'attention soit encore portée à ce problème, il est évident que cette augmentation devra rapidement trouver ses limites dans le cadre d'un développement durable des activités d'élevage.

Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles : natures, sources et mécanismes de transfert

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

VII- Bactéries

1- Micro-organismes d'origine fécale

• Nature des micro-organismes fécaux

Les micro-organismes fécaux comprennent principalement des bactéries, des virus, des champignons et des

protozoaires. Ce sont des hôtes habituels ou pathologique des tubes digestifs de mammifères. Il en existe des centaines d'espèces, constituées elles mêmes de nombreuses souches. Certaines espèces ou souches sont pathogènes pour l'homme et/ou les animaux.

L'évaluation pratique de la qualité microbiologique des eaux se fait sur la base du concept de micro-organismes dits « indicateurs », choix qui résulte des difficultés ou impossibilités techniques de détecter toute la diversité des microorganismes pathogènes. L'abondance d'indicateurs est corrélée à un risque de présence de pathogènes. Les indicateurs les plus fréquemment utilisés sont les coliformes ou entérocoques fécaux, *Escherichia Coli* ...

• **Le transfert des zones agricoles aux eaux**

Le transfert est fonction

- des quantités d'engrais de ferme appliquées
- de la durée de survie des bactéries introduites sur les sols et donc des facteurs qui contrôlent cette survie
- de l'intervalle entre l'application et l'événement pluvieux important qui lui succède,
- des états de surface du sol et de l'état hydrique du bassin versant

Les mécanismes de transfert

Deux mécanismes principaux de transfert vers les eaux peuvent être identifiés :

- le ruissellement de surface, notamment sur les zones imperméabilisées du fait du piétinement et sur sols saturés en eau, qui apparaît comme l'agent essentiel d'extraction et de mobilisation des bactéries fécales,
- les rejets par des pollutions ponctuelles (fuites de stockage ou égouts) ou les rejets directs dus à l'accès des animaux à la rivière,

Survie des micro-organismes dans l'environnement

Les micro-organismes, une fois sur ou dans le sol, ont des durées de survie très variables selon l'espèce microbienne, les pratiques agricoles (mode de stockage, technique d'épandage, type d'effluent, la culture...), et les conditions environnementales (édaphiques, climatiques, biologiques).

• **Le stock sur et dans les sols**

Les micro-organismes ne s'accumulent généralement pas dans les sols sur le long terme. Dans le cas de bouses et des gros amas de fumier ou lisier, la protection assurée par les matières organiques permet une survie qui se compte en mois et qui parfois peut atteindre une année. Suite à un épandage, sur la végétation, la survie est beaucoup plus courte, quelques jours à quelques semaines.

la contamination microbiologique des eaux liée aux pratiques agricoles

- [Rapport 2010 sur la survie des microorganismes fécaux](#)
- [Annexe sur la charge microbienne des effluents](#)
- [Annexe sur la survie des microorganismes fécaux dans les effluents](#)
- [Annexe sur la survie des microorganismes fécaux dans l'eau](#)
- [Annexe sur la survie des microorganismes fécaux dans le sol](#)

**Les pollutions de l'eau dans les bassins versants agricoles :
natures, sources et mécanismes de transfert**

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

VIII- Conclusion : Les polluants les plus étudiés, nitrates et produits phytosanitaires

En résumé, les éléments polluants se décomposent en deux grandes familles (les fortement mobiles parce que fortement solubles et les faiblement mobiles parce que le plus souvent liés à la phase solide du sol), suivant leur devenir dans l'environnement (accumulation ou transformation), ce qui détermine leur comportement et leur potentialité de transfert vers les cours d'eau.

Nitrates et produits phytosanitaires sont les polluants les plus étudiés. Ils sont souvent considérés comme les "chefs de file" de ces deux familles. **Les nitrates** sont très solubles, persistants car la plupart des nitrates en surplus restent dans le bassin versant et vont très progressivement vers les eaux. Ils suivent donc le même type de chemin que l'eau qui percole : on dit qu'ils transitent par lixiviation et par écoulement latéral de nappe. Les nitrates sont également un exemple type de polluants persistants, même si des mécanismes naturels de transformation existent (dénitrification), ceux-ci étant néanmoins trop limités dans le temps et dans l'espace pour "traiter" tous les excédents. **Les produits phytosanitaires** ont quant à eux une grande affinité pour la phase solide du sol. Ils se lient avec elle et sont transportés principalement adsorbés aux particules. Sauf conditions particulières, les pesticides sont transportés aux rivières essentiellement par ruissellement lors des événements pluvieux. Ils ne suivent donc la plupart du temps que la composante latérale et de surface de l'eau, n'étant que peu ou pas transférés vers les nappes. Les pesticides sont également un exemple de polluants relativement peu persistants dans l'environnement, la plupart étant rapidement dégradés par les microorganismes des eaux et des sols.

Au final, ce sont donc les conditions et les mécanismes régissant le transfert de l'eau qui régulent les transferts de nitrate et de produits phytosanitaires dans les bassins versants, même si les mécanismes et les voies de transferts sont différents d'un bassin versant à l'autre.

Tableau 2 : Caractéristiques des nitrates et produits phytosanitaires agissant sur leur pouvoir polluant de la ressource en eau.

NITRATES	PESTICIDES
nature	
- anion monovalent très soluble	- molécules organiques variées, le plus souvent faiblement solubles
source	
- <u>apports annuels</u> multiples : engrais, déjections animales, minéralisation de la matière organique du sol ... - <u>stock pluriannuel</u> important dans les nappes, lié aux pratiques agricoles	- <u>apports annuels</u> : produits de synthèse pour le traitement des cultures - <u>stock pluriannuel</u> faible par rapport à l'apport annuel, dépendant de la demi vie du produit, souvent de l'ordre de quelques jours à quelques mois; stocks localisés principalement dans les horizons superficiels des sols.

persistance	
Forte : - la matière organique est une source potentielle importante - stock dans les nappes	Réduite : - faible en général liée à la dégradation dans les sols mais formation de produits de dégradation souvent mal connus - très variable selon les produits, les sols, les conditions hydriques et de température
mobilité	
Forte : - élément soluble	Moyenne et variable selon les produits : - rétention sur les sols (Koc) - solubilité variable
direction de transfert	
- vertical, vers la nappe - puis latéral sur une grande gamme de profondeurs	- latéral, de surface et de subsurface
voie de transfert	
- lessivage et transfert de nappe	- ruissellement et frange superficielle de la nappe
temps de transfert	
longs : - années	courts : - jour, mois

Ce qu'il faut retenir : Les pollutions de l'eau

J. Molénat, J.M. Dorioz, C. Gascuel et G. Gruau

- La qualité de l'eau est évaluée par des aspects **physico-chimique et écologique**. Des textes réglementaires fixent les teneurs maximales à respecter pour les eaux brutes.

Paramètre	Valeur réglementaire	Valeur guide
Nitrates NO ₃	50 mg/l	25 mg/l
Produits phytosanitaires	0,1 µg/l par substance 0,5 µg/l pour le total des substances mesurées	- -
Phosphore	5 mg/l de P ₂ O ₅	0,4 mg/l de P ₂ O ₅

- Des impacts écologiques existent bien en deçà de ces seuils pour chacun de ces éléments chimiques. Des valeurs seuils sont à déterminer, car elles dépendent des interactions entre pollutions, des conditions de milieu et des dynamiques temporelles.

- Deux types de substances polluantes sont distinguées : les **substances utilisées en agriculture** pour amender le sol (nitrates, phosphore,..), dans l'alimentation animale (métaux lourds, ...) ou pour protéger les cultures (produits phytosanitaires), et les **substances naturellement présentes** dans les sols (matières organiques).

- Selon les polluants, deux stocks sont à considérer : le **stock du sol** par accumulation des polluants persistants (phosphore et métaux lourds) et le **stock de la nappe** par migration des polluants solubles et persistants en profondeur avec les eaux de pluie (nitrates).

- Les **polluants les plus étudiés** sont les nitrates et les produits phytosanitaires, leurs caractéristiques agissent sur la nature de la pollution de la ressource eau et de sa mitigation.

NITRATES	PESTICIDES
nature	
- anion monovalent très soluble	- molécules organiques variées, le plus souvent faiblement solubles
source	
- <u>apports annuels</u> multiples : engrais, déjections animales, minéralisation de la matière organique du sol ... - <u>stock pluriannuel</u> important dans les nappes, lié aux pratiques agricoles	- <u>apports annuels</u> : produits de synthèse pour le traitement des cultures - <u>stock pluriannuel</u> faible par rapport à l'apport annuel, dépendant de la demi vie du produit, souvent de l'ordre de quelques jours à quelques mois; stocks localisés principalement dans les horizons superficiels des sols.
temps de résidence	
Forte : - la matière organique est une source potentielle importante - stock dans les nappes	Réduite : - faible en général liée à la dégradation dans les sols mais formation de produits de dégradation souvent mal connus - très variable selon les produits, les sols, les conditions hydriques et de température
mobilité	
Forte : - élément soluble	Moyenne et variable selon les produits : - rétention sur les sols (Koc) - solubilité variable
direction de transfert	
- vertical, vers la nappe - puis latéral sur une grande gamme de profondeurs	- latéral, de surface et de subsurface
voie de transfert	
- lessivage et transfert de nappe	- ruissellement et frange superficielle de la nappe
temps de transfert	
longs : - années	courts : - jour, mois

Références bibliographiques

http://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/Polluants_de_l_eau/