

2.3.4. Le Cycle de la Matière organique

La **matière organique** (MO) est l'ensemble des molécules contenant du carbone (C), issues des organismes vivants ou les constituants. A l'opposé se trouve la matière minérale ou matière inerte.

La matière organique regroupe :

- les métabolites produits par les êtres vivants
- les cellules vivantes ou mortes, animales ou végétales et toutes les molécules résultant de la décomposition de ces cellules.
- les molécules de synthèse dont font partie les produits phytosanitaires.

La matière organique présente dans les eaux de surface (rivières, lacs, étangs, ...) peut avoir deux origines :

1-La matière organique autochtone : vivante ou détritique, elle est constituée en majeure partie de phytoplancton, de zooplancton et de bactéries, mais aussi de macrophytes et d'autres algues benthiques. La matière organique autochtone est issue d'une production interne aux masses d'eau et se forme principalement par voie photosynthétique. Elle est très abondante dans les étendues d'eau stagnantes (lacs, étangs) riches en sels nutritifs et de ce fait soumis au processus d'eutrophisation.

2-La matière organique allochtone, issue de la végétation, des sols et des roches mères des bassins versants. Les matières organiques provenant de la végétation (litières) sont plus ou moins indépendantes des apports minéraux, tandis que celles issues des sols et des roches mères sont liées à la matrice minérale des particules en suspensions. Les transferts au réseau hydrographique se font par des vecteurs hydrologiques (ruissellement, écoulements hypodermiques et de nappe), éoliens ou par chute directe. Ce compartiment comprend également les apports de matière organique anthropique, par exemple ceux provenant des déjections animales (fumier, lisier), des résidus urbains et/ou industriels (eaux usées, boues de stations d'épuration, hydrocarbures).

Ces deux types de matière organique peuvent se trouver dans les masses d'eau soit sous forme particulaire, soit sous forme dissoute dépendant de la taille des molécules d'origines ou de l'état de décomposition de leurs précurseurs végétaux ou animaux.

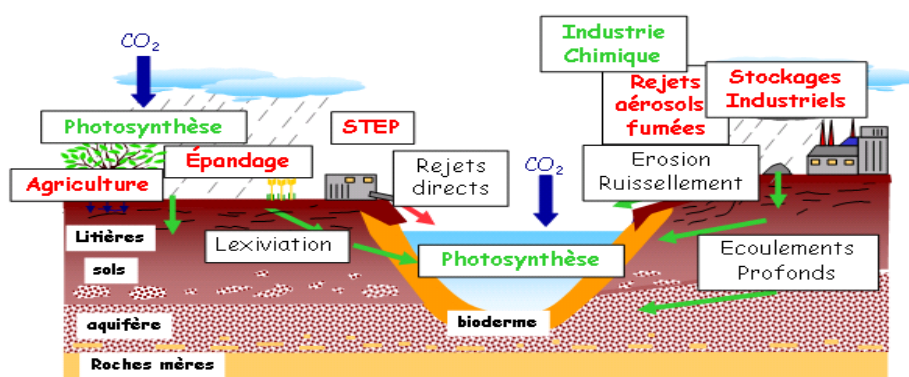


Figure16 : Multiplicités des sources de matière organique

2.3.4.1. La matière organique allochtone

La source majeure de matière organique allochtone du réseau hydrographique est le réservoir constitué par la biosphère terrestre. Ce réservoir inclut la biomasse vivante, la biomasse détritique peu ou pas dégradée (litière) ainsi que la matière organique des sols composée principalement de substances humiques phénoliques résultant de la décomposition de la litière. Ces substances humiques forment souvent des complexes avec les minéraux argileux des sols.

- **Les sols**

La matière organique est l'un des principaux composants des sols. On la reconnaît facilement à sa couleur très sombre, voire noire, et à son odeur. Elle est, en général, très présente dans la partie supérieure du sol où elle joue un rôle clef dans les relations entre le sol et les plantes, dans la structure du sol et dans sa richesse.

On distingue quatre groupes de matières organiques dans les sols :

- **La matière organique vivante**, végétale et animale, qui englobe la totalité de la biomasse en activité. La biomasse végétale et microbienne est supérieure à la biomasse animale. Elle est essentiellement représentée par les champignons, puis les bactéries et les actinomycètes. Le rôle de cette microflore de décomposition est de se nourrir des matières organiques mortes (nécromasse), ce qui conduit à les minéraliser.

- **Les débris d'origine végétale** (résidus végétaux, exsudats) et d'origine animale (déjections et cadavres) qui sont regroupés sous le terme de matière organique fraîche. La nature de cette MO fraîche est directement liée aux activités de surface et en premier lieu au couvert végétal (forêt, prairie, cultures). Elle est donc en majorité composée de MO végétale (cellulose, lignines, pectines, alguines, etc.)

- **Des composés organiques intermédiaires** sont les matières organiques en cours d'évolution entre la MO fraîche et les composés organiques stabilisés : les matières humiques (humus).

- **Les composés organiques stabilisés** : phase aboutie de la décomposition de la matière organique (acides fulviques, acides humiques, humine). La matière organique des sols peut se retrouver dans les cours d'eau sous forme particulière (COP) à l'occasion des phénomènes d'érosion et de ruissellement ou sous forme dissoute (COD) lors des processus de lessivage.

Les litières et la végétation rivulaire

Les **litières** constituent l'horizon supérieur (horizon 0) des sols. La composition des litières dépend de la végétation et de l'occupation des sols alentours. Les litières sont constituées de feuilles, de brindilles, de fruits, de morceaux d'écorces et de graines. L'apport dominant de matière organique issu des litières au cours d'eau est généralement celui des feuilles.

Les apports à la rivière se font par chute directe et par apports latéraux sous l'action du vent ou lors d'épisodes de ruissellement. Ces chutes directes et les apports latéraux de litières constituent un apport essentiel de COP dans les rivières (Veyssey, 1998). Le stock se constitue à partir d'octobre et

atteint un maximum de décembre à février. Une fois dans le milieu aquatique, les litières y subissent une décomposition en quelques heures ou quelques jours, temps pendant lequel les feuilles perdent une certaine fraction de leur poids sous forme de COD. D'autre part, le lessivage sur la végétation vivante et des litières constitue un facteur très important d'apports de COD aux rivières. Ainsi dans les ripisylves, l'apport de COD aux sols et donc aux rivières se produit en grande partie par l'intermédiaire des pluies lessivant le feuillage et les tiges.

Les rejets urbains

Les rejets urbains présentent deux formes majeures :

- (1) les rejets pluviaux caractérisés par un drainage des zones urbaines,
- (2) les rejets de stations d'épuration et d'industries.

Dans les deux cas, de fortes charges organiques parviennent à la rivière. Ces rejets d'une forte population bactérienne spécifique qui assure une élimination progressive de la matière organique en aval. C'est le COD qui est surtout éliminé tandis que le COP sédimente en grande partie. La charge en matière organique des eaux pluviales atteint, en flux et en concentration, celle des eaux traitées des stations d'épuration. Les eaux de pluie urbaines incorporent dans un premier temps des gaz et des aérosols atmosphériques. Au contact des surfaces urbaines, ces eaux s'enrichissent en matières en suspension riches en polluants organiques, minéraux et sels solubles. Les principales sources sont les lubrifiants, l'essence et les pots d'échappement, l'usure des véhicules et des chaussées, les déjections d'animaux, les produits divers répandus sur la chaussée et le relargage des gouttières et toitures. Véhiculant aussi des micro-polluants organiques dont l'impact sur la faune et la flore peut être dramatique : cas des HAP (hydrocarbure aromatiques polycycliques) et des PCB (Polychlorobenzène) par exemple, particulièrement néfastes et rémanents.

2.3.4.2. La matière organique autochtone

Les principales sources de carbone autochtone sont le phytoplancton, les bactéries en suspension (libres ou attachées), les plantes aquatiques (macrophytes), les mousses, les excréments d'invertébrés et de la microflore associée aux détritiques et les biofilms benthiques. La contribution de la matière organique autochtone peut être non négligeable surtout lors des blooms planctoniques du printemps et de l'été. Cependant, à l'échelle annuelle, la contribution autochtone des rivières est largement minoritaire par rapport à la contribution allochtone. Elle varie d'une rivière à l'autre, mais reste presque toujours inférieure à 10% du flux annuel total de matière organique transportée (Veyssy, 1998).

On notera que la matière organique autochtone se forme à partir des transferts de nutriments (azote, phosphore) en provenance des sols des bassins versants. Sa production est une conséquence directe des activités humaines sur les bassins versants.

CONCLUSION

De nombreuses études suggèrent que dans les rivières prédominent les apports de matière organique allochtone (Degens, 1982, 1991 ; Spitzky, et Leenheer, 1991 ; Kempe et Depetris, 1992 ; Ludwig et al., 1996a ; Gruau G., 2004), notamment en période hivernale lorsque les flux d'eau et de matière organique sont les plus importants (Gruau, 2004).

Cependant, d'autres auteurs (Jigorel A., comm. pers.) considèrent que la matière organique autochtone peut être une source importante de la matière organique véhiculée par les cours d'eau. Cette matière organique autochtone va contribuer à l'augmentation de la sédimentation dans le réseau hydrographique, qui elle est liée à l'enrichissement en nutriments des eaux superficielles depuis ces dernières décennies, enrichissement qui favorise une prolifération de la biomasse végétale aquatique.

Dans les retenues collinaires, l'essentielle de la matière organique est d'origine autochtone, notamment en été lorsque le développement d'algues engendré par les apports de nitrate et de phosphore en provenance du bassin versant sont maximum.

Dans les eaux de surface, les matières organiques peuvent être sous forme dissoute ou particulaire :

- Les premières proviennent principalement du lessivage des sols des bassins versants. Cette matière organique allochtone en provenance des sols est filtrée par la matrice minérale pendant le transport et est donc essentiellement de nature dissoute. On prend donc en compte plus particulièrement celle-ci lorsque l'on mesure le COD.
- Les secondes proviennent essentiellement des algues issues notamment de l'eutrophisation (origine autochtone). On prend donc en compte plus particulièrement cette matière organique autochtone lorsque l'on mesure le COP.

2.3.4.3. La matière organique dans les eaux : méthode d'analyse et estimation

Les différentes méthodes d'analyse de la matière organique dans l'eau

- L'estimation de la matière organique de l'eau par la mesure du carbone,

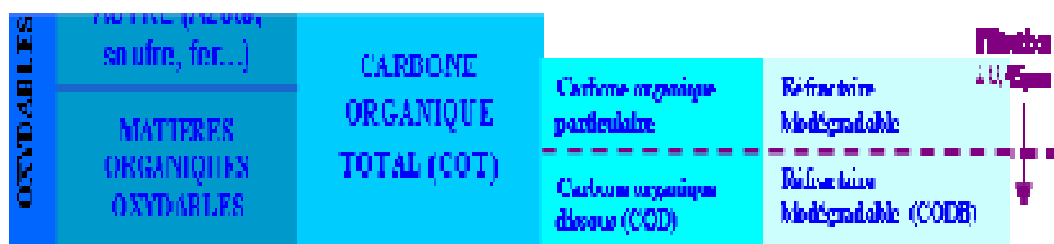


Figure 17 : L'estimation de la matière organique de l'eau

a. LeCarbone organique total (COT) et dissous (COD)

Le COT est une des deux méthodes d'analyses réglementaires de la matière organique de l'eau potable (norme AFNOR NF EN 1484, juillet 1997). Le carbone organique total (COT) est une mesure de la teneur en carbone des matières organiques dissoutes et non dissoutes, présentes dans l'eau. Il ne donne pas d'indication sur la nature de la substance organique. La teneur en COT est utilisée pour estimer la quantité totale de matières organiques présentes en solution et en suspension dans une eau. Pour une eau de surface, le COT en général est composé de 90% de carbone organique dissous (COD) et de 10% de carbone organique particulaire. Le COD représente la matière organique en solution. Il est mesuré après enlèvement par filtration des matières organiques en suspension (filtration sur des membranes de 0,45 µm ou de 0.22µm selon les protocoles).

b. LeCarbone organique dissous biodégradable (CODB)

C'est la partie du COD dégradée par des bactéries. Il est estimé à partir de la décroissance du COD après une longue période d'incubation (28 jours) en présence d'une suspension de bactéries (AFNOR T 90-318) ou d'une biomasse fixée (AFNOR T 90-319). Pour les eaux de surface, la valeur du CODB est en général au maximum de 30% du COD. Le terme Carbone Organique Dissous Réfractaire (CODR) est réservé au carbone organique dissous bio-réfractaire dans les conditions du test : $CODR = COD - CODB$.

- L'estimation de la matière organique de l'eau par la mesure de la consommation d'oxygène. Dans l'eau, les matières organiques et les matières minérales oxydables sont des substances consommatrices de l'oxygène de l'eau. Par conséquent, on peut quantifier leur teneur dans les eaux au travers de paramètres équivalents à une consommation réelle ou potentielle d'oxygène.

c. L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO4) en milieu acide

L'oxydabilité au permanganate de potassium est la méthode d'analyse réglementaire pour les eaux brutes destinées à la consommation (code de la santé publique, articles L 1321-1 à L 1321-66, livre 3, titre 2). Elle a pour but d'approcher la teneur en matières organiques présente dans l'eau brute en évaluant la quantité d'oxygène utilisée par la réduction du permanganate de potassium par les matières organiques. Cette analyse consiste en une oxydation chimique à chaud (100°C) en milieu acide pendant 10 min. En théorie, elle permet de mesurer autant la fraction dissoute que la fraction particulaire de la matière organique. En pratique toutefois, il s'avère que cette méthode dose principalement le compartiment dissous (méthode trop "douce" pour oxyder les matières organiques particulaires). En outre, sa limite est que d'autres substances réductrices peuvent interférer dans la mesure. La valeur limite pour les eaux potables est de 5 mg O₂/l avec un niveau guide de 2 mg O₂/l. Pour les eaux brutes, la valeur limite est de 10 mg O₂/l.

d. L'absorbance UV à 254 nm

Rappel sur la méthode et les limites de détection Cette méthode de mesure est très pratique, mais certains éléments minéraux représentent une source d'interférences. En outre, les résultats peuvent

dépendre de la nature de la matière organique analysée. Une densité optique de 1 pour des cuves de 1 cm équivaut à une valeur approximative de 30 à 45 mg O₂/l de l'oxydabilité au KMnO₄ en milieu acide. Il n'y a aucune référence quant à l'absorbance UV dans le décret n°2001-1220. Il existe une corrélation entre le COD et l'absorbance UV. Absorbance UV (254 nm) / COD \approx 0,03 à 0,04 pour des eaux de rivière.

e. La Demande biochimique en oxygène (DBOn)

La DBOn (norme AFNOR EN 1899-1 et 1899-2, mars 1998) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 jours (on ne peut donc avoir qu'une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air. On parle alors de la DBO₅. Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables.

Elle est exprimée en mg de O₂ consommé par litre. Echelles de valeur de DBO₅ :

- Eau naturelle vive : < 1 mg O₂/l
- Rivière légèrement polluée : entre 1 et 3 mg O₂/l
- Effluent urbain : entre 100 et 400 mg O₂/l
- Rejet de STEP : entre 20 et 40 mg O₂/l.

Cette norme européenne est applicable à tous les types d'eau dont la demande biochimique en oxygène est supérieur ou égale à la limite de détermination de 3 mg/l d'oxygène, et ne dépasse pas 6000 mg/l d'oxygène.

f. La Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO (norme AFNOR NF T 90-101, octobre 1988) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant puissant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures ne sont, par exemple, pas oxydés dans ces conditions). L'objectif de la DCO est donc différent de celui de la DBO car il est surtout adapté aux eaux industrielles. Le résultat s'exprime en mg d'O₂ /l.

CONCLUSION

La méthode d'analyse d'eau réglementaire par oxydabilité au permanganate de potassium est censée permettre de mesurer l'ensemble de la fraction organique (dissoute et particulaire) présente dans l'eau. Or, comme dit précédemment, cette méthode est trop "douce" pour oxyder la fraction particulaire. Ainsi, les mesures d'oxydabilité dans les eaux brutes dosent des MO essentiellement dissoutes. Une étude réalisée par le CNRS et portant sur des analyse d'eau du Léguer (22) montre d'ailleurs qu'il existe un rapport constant entre oxydabilité et COD que l'on se situe en période de

crue (période où l'on attend une fraction particulaire importante) ou inter-crue (prépondérance de la fraction dissoute) de l'ordre de :

oxydabilité = 0.7 x COD. Or, il est clair qu'une corrélation linéaire entre oxydabilité et COD ne serait pas maintenue en période de crue si les mesures d'oxydabilité incluaient un compartiment particulaire.

Le niveau de contamination des eaux tel qu'établi par les mesures d'oxydabilité est donc un niveau minimum. Le niveau réel est plus élevé, d'une grandeur correspondant au compartiment particulaire, compartiment dont la taille demeure à l'heure actuelle globalement inconnue.

2.3.4.4. Les facteurs naturels contrôlant le transfert de la MOD des sols vers les rivières

Trois facteurs principaux contrôlent les transferts de MOD du sol vers le réseau hydrographique : la topographie, la perméabilité des sols et la pluviométrie. De la combinaison de ces facteurs résulte une variabilité temporelle de la pollution des rivières par les MOD et une localisation spatiale non quelconque des sources dans les paysages.

1- Le moteur topographique

Dans les sols, la matière organique se concentre dans les premiers centimètres. Un bassin versant caractérisé par des fonds de vallées plats et larges (Figure 1) aura tendance à exporter plus de matière organique dissoute (MOD) vers son exutoire. En effet, dans ce type de topographie, la fraction de nappe interagissant directement avec les horizons organiques superficiels du sol est importante. Il en ressort donc une eau de rivière plus fortement chargée en MOD.

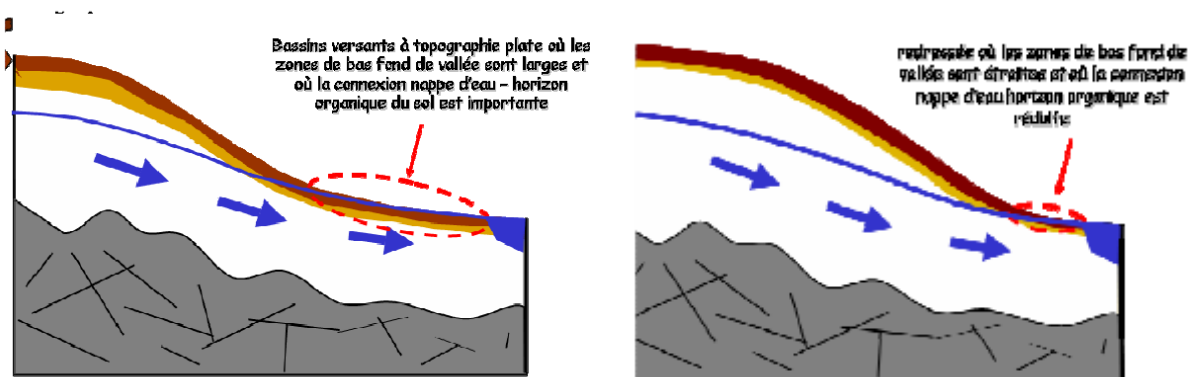


Figure 18 : Influence de la topographie du bassin versant sur la charge en MOD des eaux écoulées.

D'après les résultats Birgand et al. (2004), le facteur "topographie" est le facteur "naturel" qui a le plus d'impact sur les transferts de MOD des sols vers les cours d'eau. L'analyse statistique réalisée sur la base des données issue de 118 bassins versants bretons montre que le paramètre topographie est la variable la plus significative expliquant 25% de la variance totale observée. De même, une étude (Gruau et al., 2004a) de détail effectuée aux exutoires de sous bassins versants du Léguer (22) a montré une corrélation linéaire inverse entre la concentration moyenne en MOD à l'exutoire et la

penne moyenne par sous BV . Il est déduit de ces travaux que le milieu physique a, du fait des variations de pente qui le caractérise, la capacité de faire varier, indépendamment de toute autre cause, les teneurs en MOD de ses rivières d'un facteur 2, au moins

2- La perméabilité des sols

La perméabilité des sols est un autre facteur contrôlant les teneurs en MOD des rivières. Un horizon minéral peu perméable situé sous l'horizon organique de surface, comme rencontré dans beaucoup de sols en zones humides, aura pour conséquence de "forcer" les circulations d'eau dans les horizons organiques du sol contribuant ainsi à enrichir les rivières en MOD.

3- La pluviométrie

La pluviométrie est un facteur influant de façon importante les teneurs en MOD des rivières . La distribution et l'intensité des précipitations, en contrôlant l'écart entre le toit des nappes et l'horizon organique des sols, entraînent une mobilisation plus ou moins intense de la matière organique du sol que l'on peut retrouver alors dans le cours d'eau. Ainsi, les transferts de MOD vers les rivières seront importants en hiver et lors des crues. Ils seront à l'inverse réduits lors des périodes d'étiage. Région de topographie relativement plate à substrat peu perméable (schiste et granite) et au climat humide, cette région naturellement à risque du point de vue du transfert de MOD du sol vers le milieu aquatique.

Conséquence 1 : une forte variabilité temporelle de la teneur en MOD des rivières

Cette première conséquence est directement la conséquence du contrôle exercé par la pluviométrie sur le lessivage des MOD du sol. Du fait de ce contrôle, des variations des teneurs en MOD des rivières s'observent en fonction des épisodes de crue ou des périodes hors crue (Figure 3), sachant que : En période de crue et principalement en automne et en hiver, les concentrations en MOD dans les cours d'eau augmentent fortement par rapport aux périodes hors crue. Les variations engendrées sont de très fortes amplitudes, les amplitudes mesurées dans les rivières pouvant aller de 7 à 18, suivant les épisodes de crue et les rivières. L'intensité de crue n'a pas tellement d'impact sur les concentrations en MOD des rivières. Même une crue de faible intensité peut engendrer de fortes teneurs en MOD dans les cours d'eau.

Conséquence 2 : une localisation spatiale non quelconque des zones sources de MOD dans les bassins versants

Cette deuxième conséquence découle directement du contrôle exercé par la topographie sur la capacité de la nappe à interagir avec les horizons organiques du sol. Ainsi, les zones plates de fond de vallée situées de part et d'autre des rivières contribuent très fortement à la pollution des rivières par les MOD. Ces zones peuvent avoir des formes variées et ne représentent souvent qu'une petite partie du bassin versant. Cette situation est très différente de celle du nitrate, lequel étant très soluble, diffuse dans les nappes. Dans ce cas la totalité de la surface du bassin versant est source de pollution. Ce n'est pas le cas pour les MOD (Gruau, comm. Pers.), la teneur en MOD dans les nappes étant très faibles. Les MOD se réadsorbent sur la matrice du sol ou sont dégradées lors de leur transfert vertical.

2.3.4.5. Les facteurs de contrôle anthropiques

Les concentrations de MOD semblent plus élevées dans les sols forestiers que dans les sols agricoles (Chantigny, 2003). Cependant, plusieurs facteurs affectent les transferts de MOD dans les sols agricoles :

- ▶ Le chaulage, en augmentant le pH des sols, entraîne une augmentation des teneurs en MOD de la solution du sol et, par voie de conséquence, peut accroître leurs transferts des sols vers les eaux (Anderson et al., 2000).
- ▶ Les amendements organiques augmentent les MOD (Gregorich et al., 1998) i) dans les jours qui suivent l'apport (Chantigny et al., 2002, Jaffrézic et al., 2005) du fait de la fraction organique soluble des amendements, ii) sur le long terme; les essais longue durée montrent que l'augmentation du carbone organique dans les sols contribue à augmenter les MOD (Zsolnay and Görlitz, 1994).
- ▶ Le retournement régulier des prairies peut augmenter la teneur en MOD des parcelles concernées et par ce biais entraîner une augmentation de la teneur en MOD des rivières (Haynes, 2000).
- ▶ Le travail du sol influence également fortement les MOD, cependant très peu de travaux traitent de la question. Les techniques culturales simplifiées en favorisant le stockage du carbone organique en surface semblent augmenter les MOD (Chantigny, 2003).
- ▶ L'implantation de cultures conduisant à un fort retour de matière organique au sol augmente le stock de matière organique au niveau du sol et peut conduire à des fuites de MOD vers les cours d'eau.
- ▶ Les arasements de haies et talus éliminent les barrières naturelles filtrantes de MOD et peuvent donc augmenter les connexions directes entre la rivière et les zones sources de MOD dans les bassins versants.
- ▶ Le drainage des zones humides peut favoriser les circulations d'eau dans les horizons les plus organiques des sols.
- ▶ Cependant, le rôle des pratiques agricoles sur l'accroissement de la pollution des rivières par les MOD à l'échelle du bassin versant n'est pas à ce jour quantifié.