



# Les effets de la restauration morphologique des cours d'eau sur la qualité de l'eau



Mikaël Le Bihan  
Direction Pays de la Loire de l'OFB  
Direction Bretagne de l'OFB

22 Mai 2024

# L'état actuel des milieux aquatiques sur les bassins versants

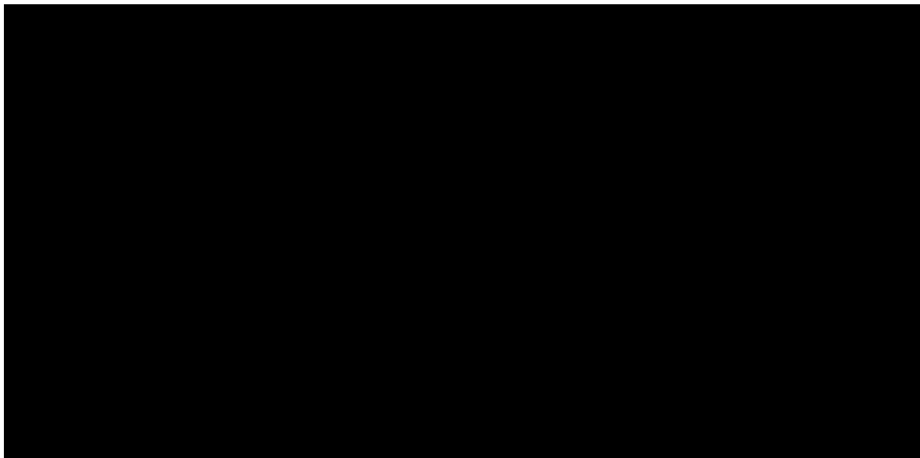


## Des milieux aquatiques hérités de plusieurs siècles d'aménagements

● Les premiers travaux d'assèchement de zones humides, de recalibrage de cours d'eau datent de l'antiquité.



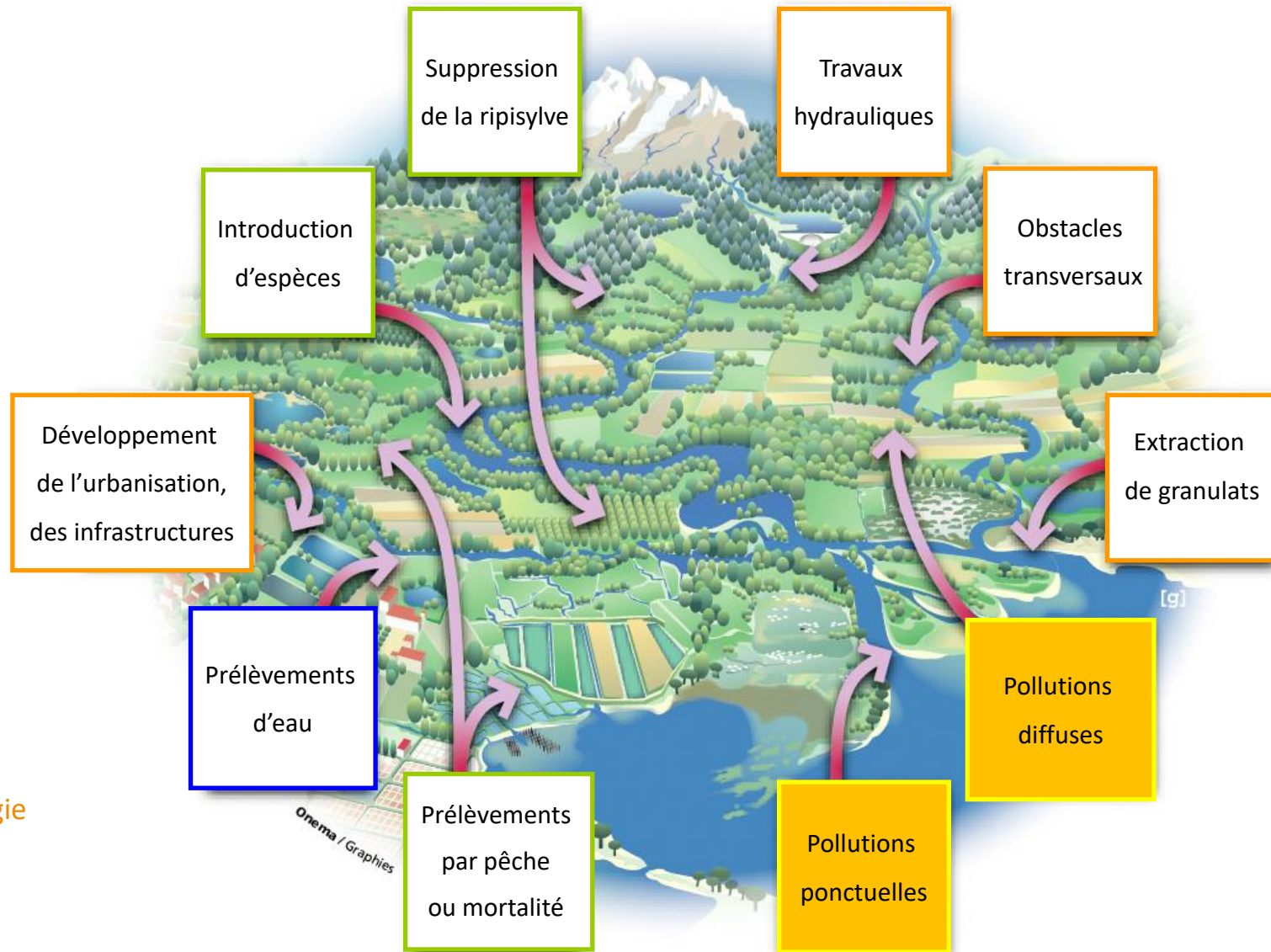
● Une accélération à marche forcée de l'artificialisation des milieux.



L'exemple des grands barrages  
(Sherbinin & Lehner, 2012\*)

**Un constat similaire** sur l'accélération de la **disparition des zones humides**, de la **chenalisation des cours d'eau**, de l'**enterrement des cours d'eau**, de la **dégradation du bocage...**

# Menaces sur les milieux aquatiques continentaux



# Dans quels états sont les bassins versants?

- Des bassins versants présentant des états très variés : Du très bon état écologique au mauvais état écologique...

## Cours d'eau

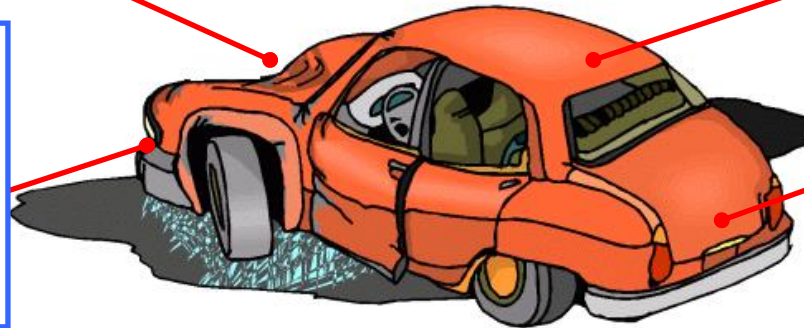
- Plus de 90 % des cours d'eau recalibrés dans certains départements (Colin, 2015)
- Plus de 110 000 obstacles à la continuité en France (ROE, 2020), nombreux obstacles en TBV non recensés

## Bande riveraine

- Dégradation de la ripisylve des cours d'eau
- Un Réseau Hydraulique Annexe (fossés/drains) en contact direct avec les cours d'eau...

## Zones humides

- Depuis 1950, disparition de 50 % des zones humides (CEE, 1995)
- Altération de leurs fonctionnalités...



## Bassin versant

- Accélération des flux d'eau, de sédiments et de polluants...

Des indicateurs de fonctionnement dans le rouge sur certaines masses d'eau



Physico-chimie



Biologie



Hydromorphologie



Hydrologie



# Bon état écologique et capacité auto épuratoire des cours d'eau

- Les cours d'eau sont capables de stocker et de transformer une partie des polluants, limitant ainsi leurs transferts vers l'aval. Mais, cette capacité dépend de l'état hydromorphologique du cours d'eau.

## Mauvais état

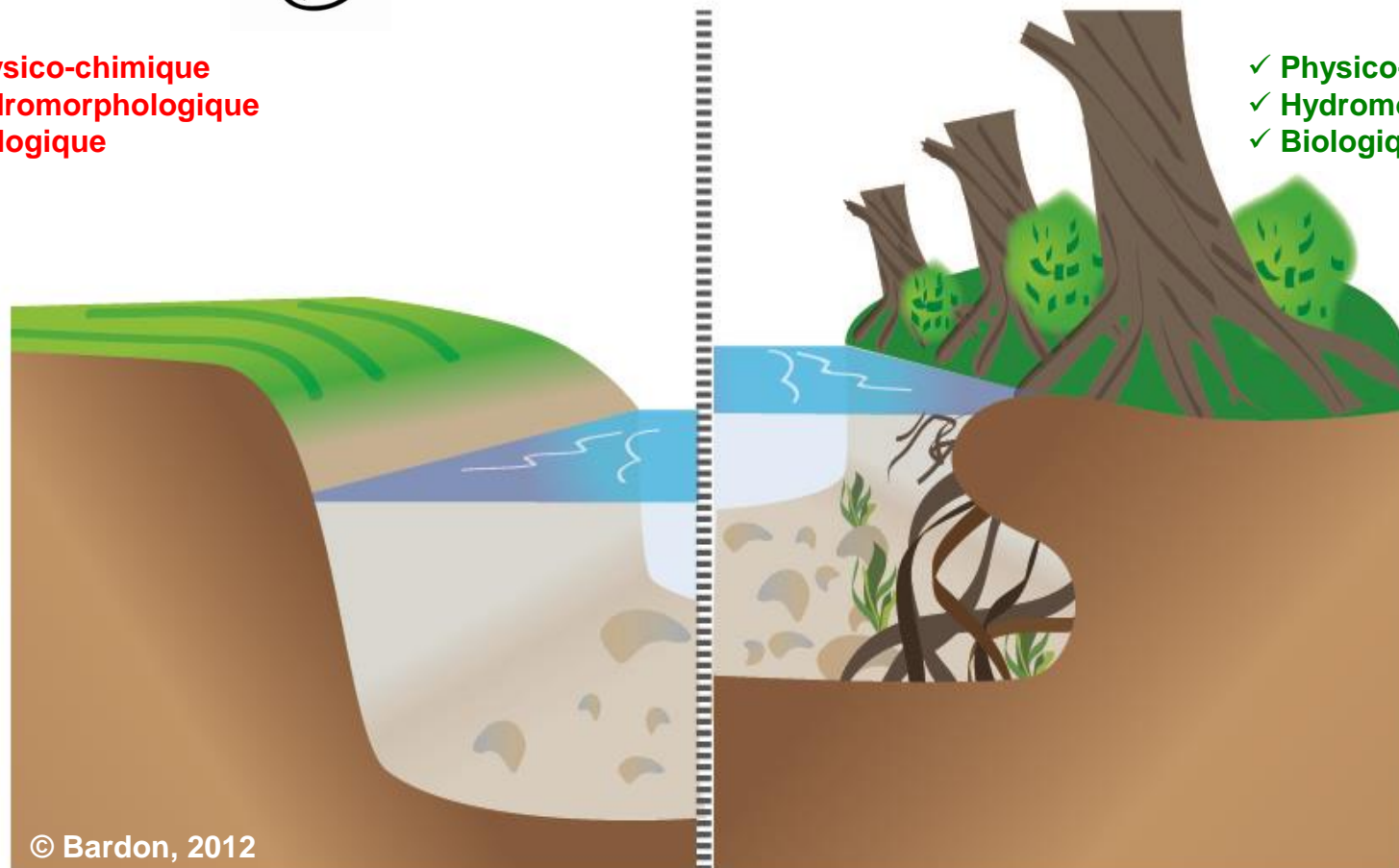


- ✓ Physico-chimique
- ✓ Hydromorphologique
- ✓ Biologique

## Bon état



- ✓ Physico-chimique
- ✓ Hydromorphologique
- ✓ Biologique



# Bon état écologique et capacité auto épuratoire des cours d'eau

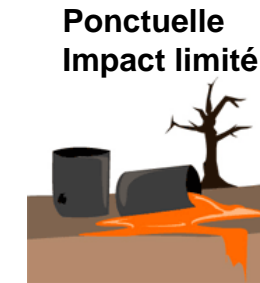
## Mauvais état

- ✓ Physico-chimique
- ✓ Hydromorphologique
- ✓ Biologique



## Bon état

- ✓ Physico-chimique
- ✓ Hydromorphologique
- ✓ Biologique



Faible auto-épuration  
Faible résilience



**Mauvais état  
écologique**

Bonne auto-épuration  
Bonne résilience




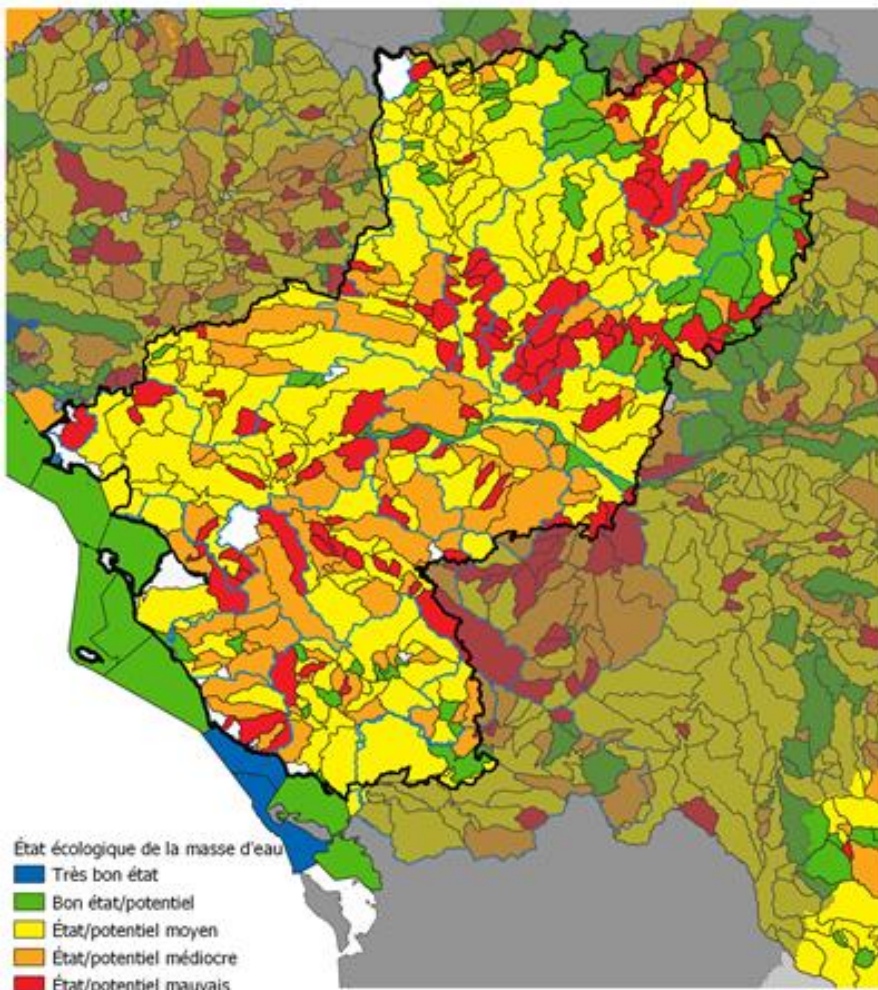
**Bon état  
écologique**





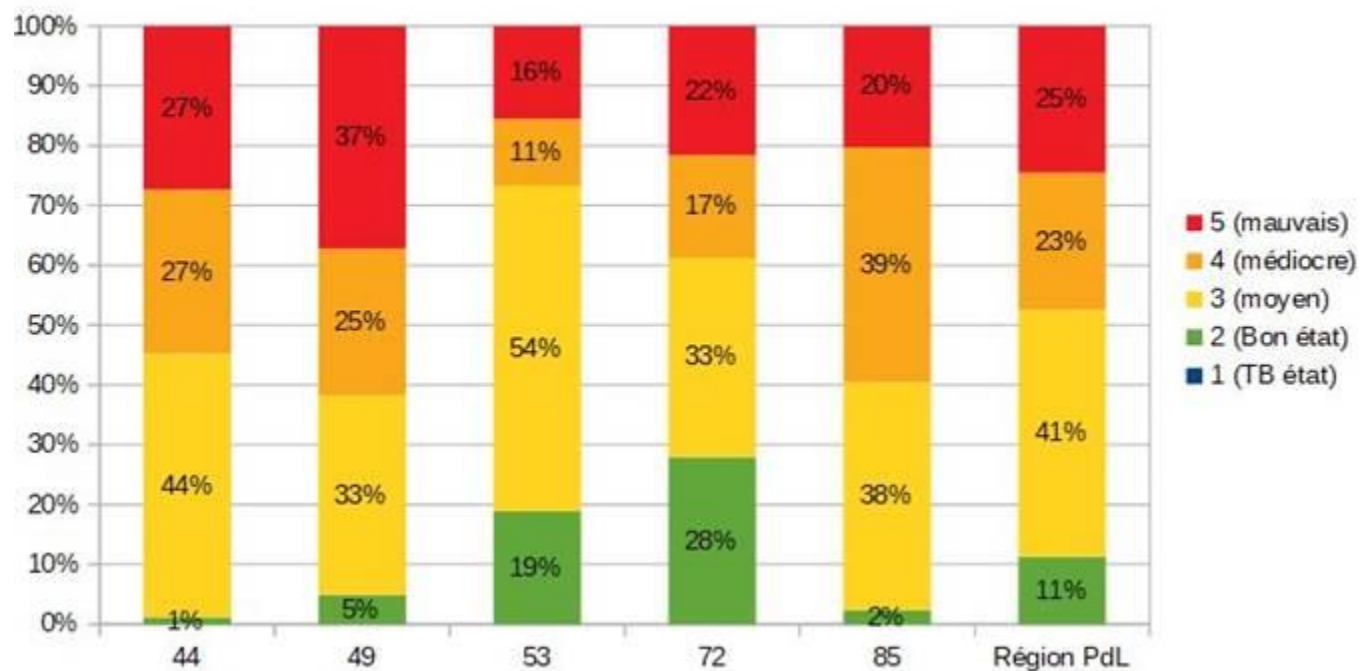
# L'état écologique des masses d'eau en Pays de la Loire


**PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE**  
 Etat écologique 2017 des masses d'eau superficielles en Pays de la Loire



Sources :  
 AIGN, DREAL Pays de la Loire  
 Le 30/12/2020 - DREAL-Pays de la Loire

Etat écologique 2017 par département en Pays de la Loire



# **L'intérêt de préserver et restaurer les zones tampons pour la qualité des eaux**

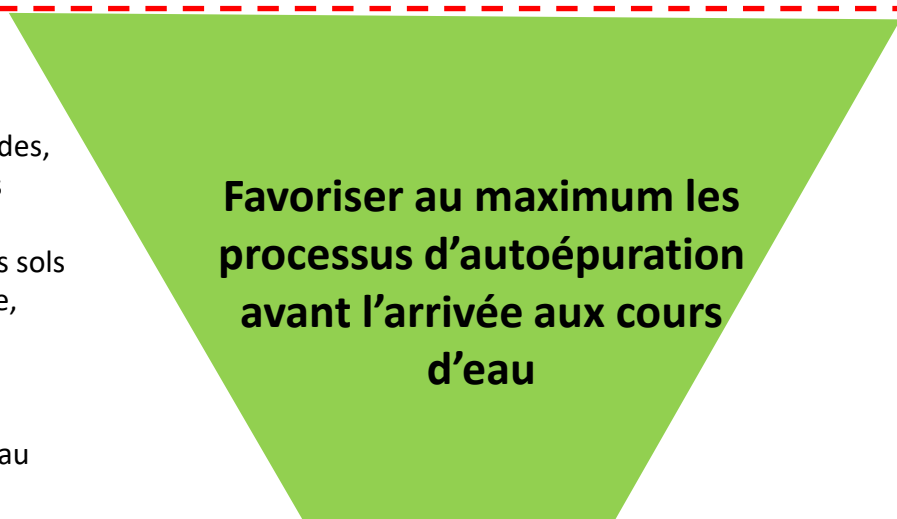


# La restauration des milieux et la qualité de l'eau

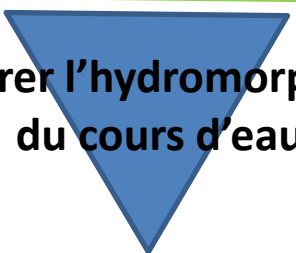
● La restauration des milieux est une action complémentaire à la réduction des apports à la source et la limitation de leur transfert aux cours d'eau.



- Couverture permanente des sols (boisements, zones humides, prairies permanentes, bandes boisées ...)
- Couvertures temporaires des sols (ex : CIPAN, prairie temporaire, bandes enherbées ...)
- Bocage (talus, haies)
- Lit majeur
- Zones tampons avec le réseau de drainage ...

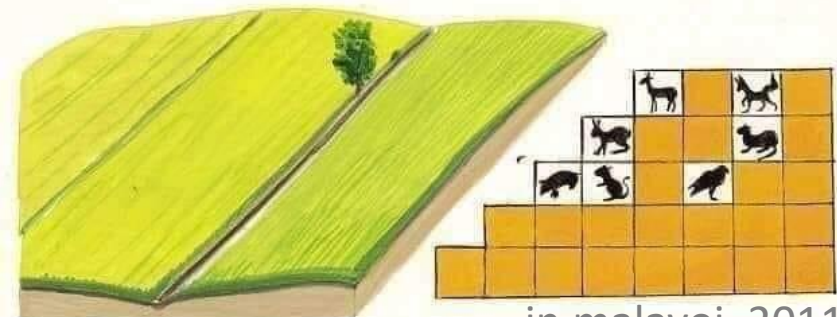
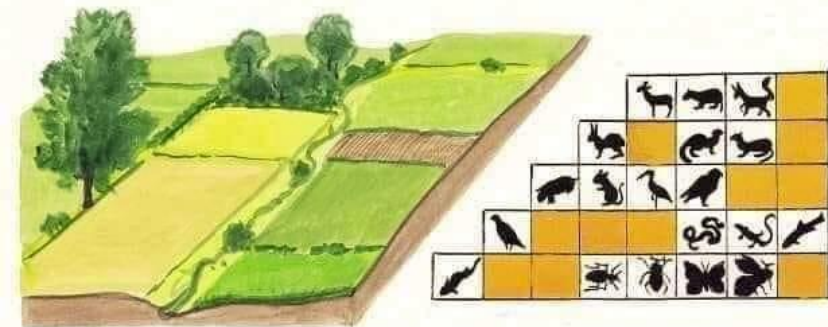
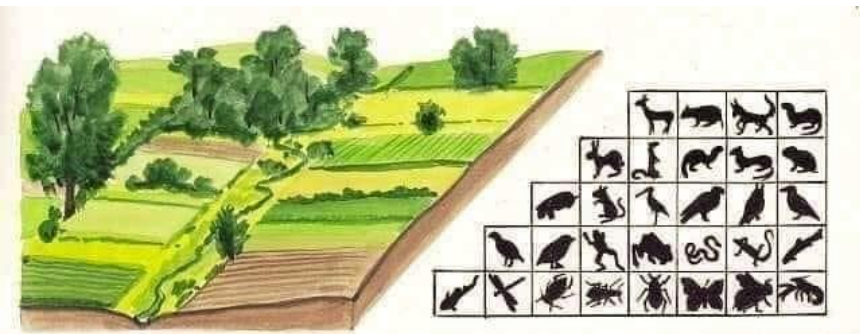


« Rideaux défensifs »  
(zones tampons)

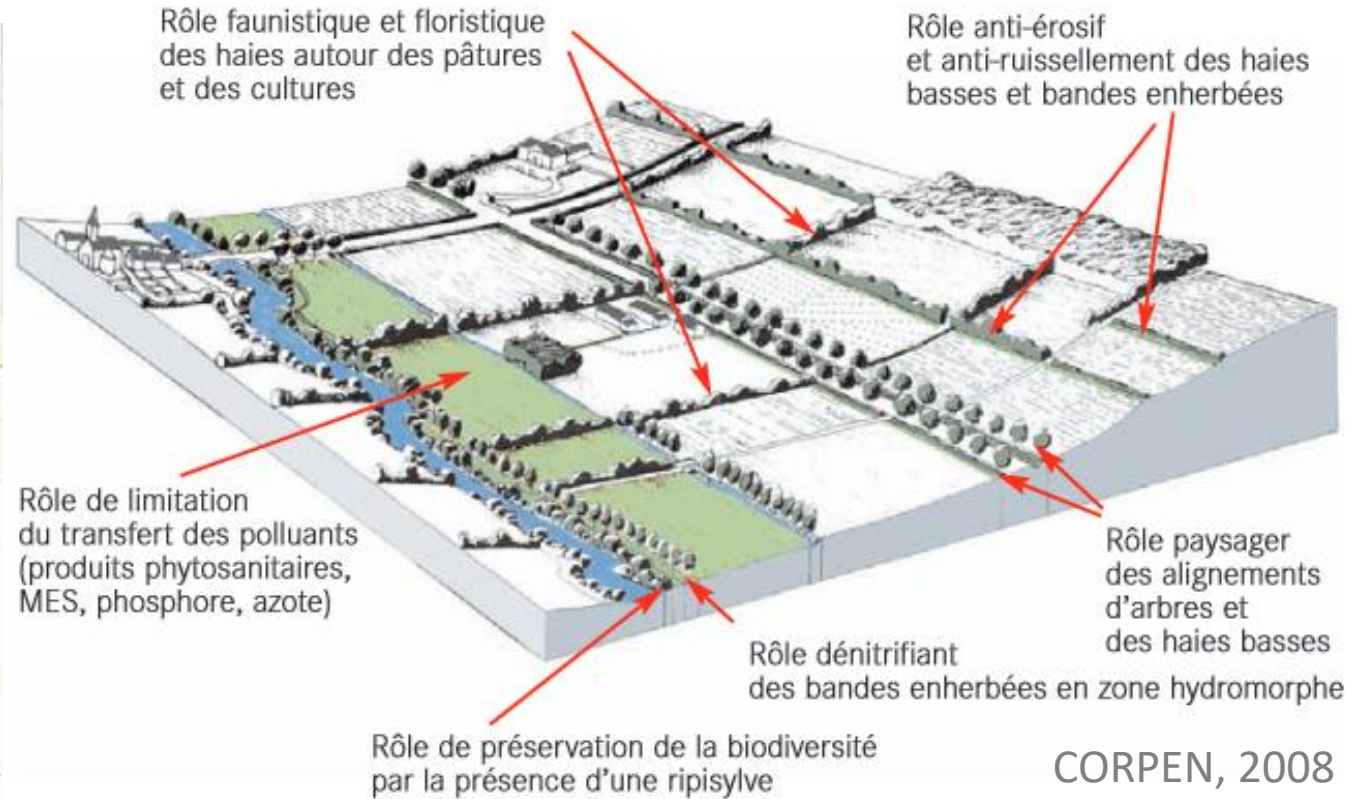


« Ultime rempart »

# Disparition progressive des zones tampons naturellement présentes sur les BV



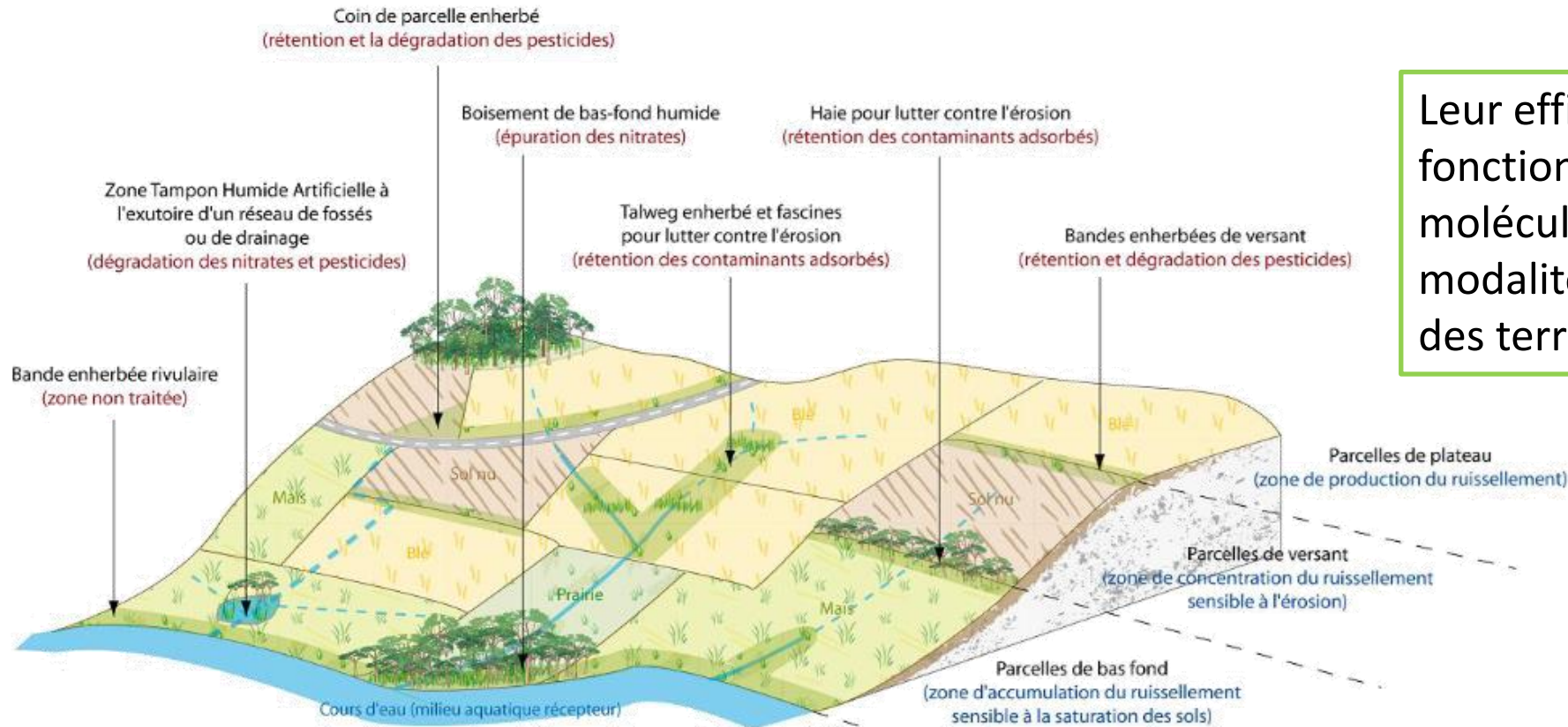
in malavoi, 2011



Impacts négatifs sur les capacités autoépuratoires

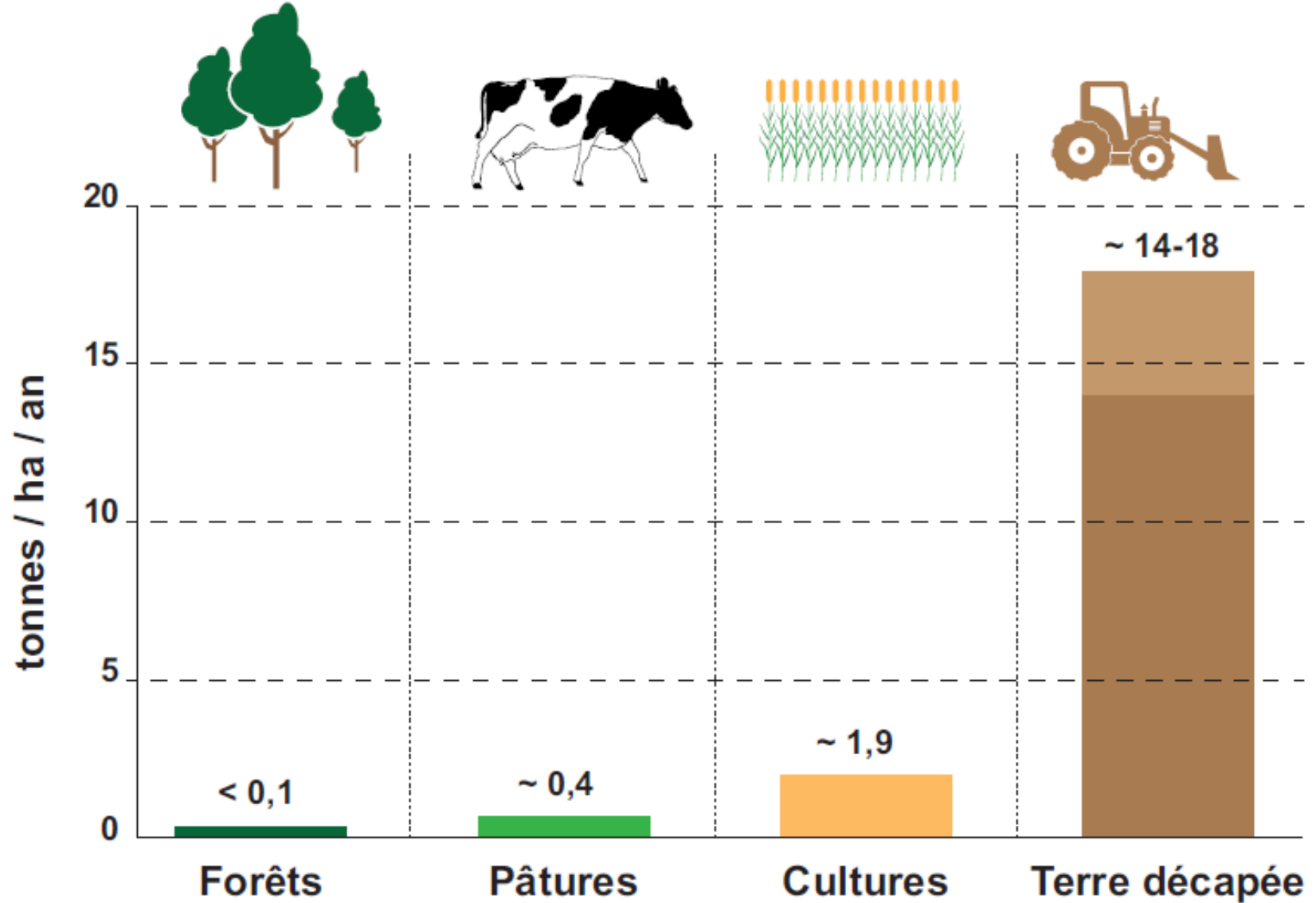
# La mise en place de zones tampons

- Favoriser les dispositifs d'interception des nutriments et polluants tout au long du parcours dans le bassin versant afin de limiter la charge du cours d'eau.
- Une grande diversité de zones tampons peut être mobilisée : bandes enherbées, prairies permanentes, bois, haies, zones tampons artificielles, etc.



Leur efficacité varie en fonction du type de molécule et des modalités de drainage des terres.

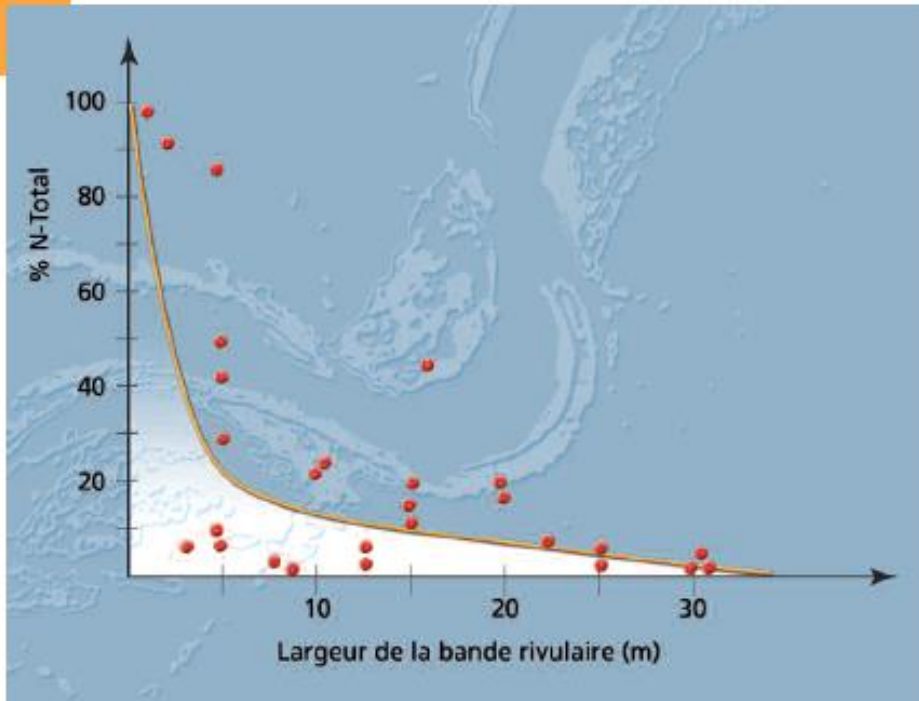
## L'intérêt de la couverture des sols sur les taux d'érosion



# L'efficacité des bandes riveraines sur la maîtrise des nutriments

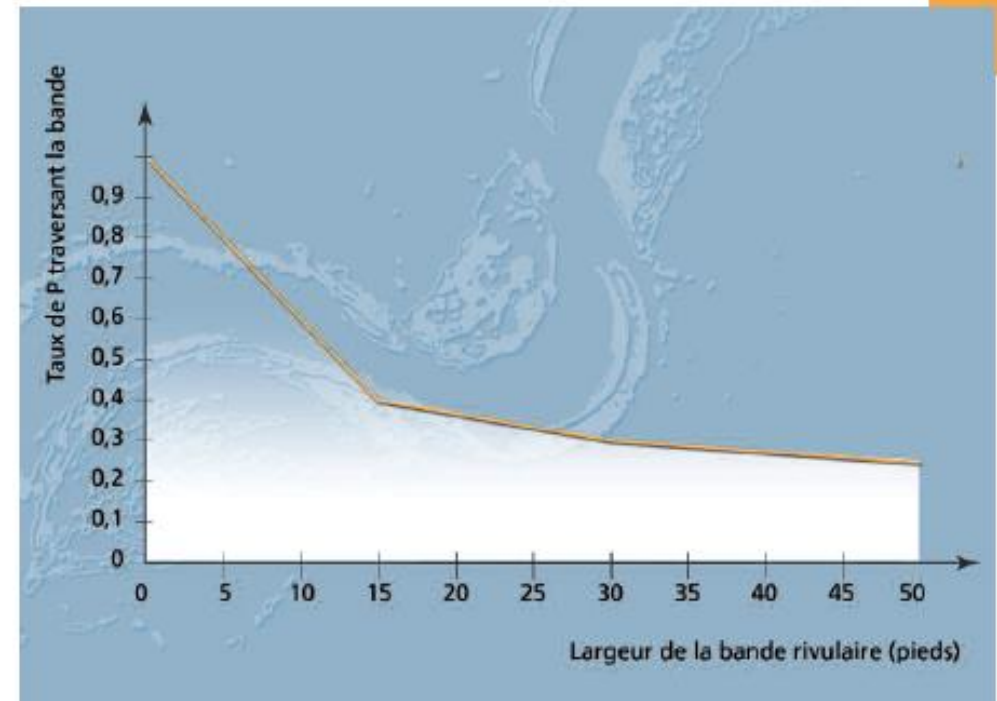
- **Importance de la largeur de la bande rivulaire** (Oraison *et al.*, 2013).

5



**Figure 5.** Évolution moyenne de la teneur en azote total dans les eaux en fonction de la largeur de la bande rivulaire (compilation de données des synthèses de Peterson et al. (1992), Vought et al. (1994) dans Maridet (1995)).

6

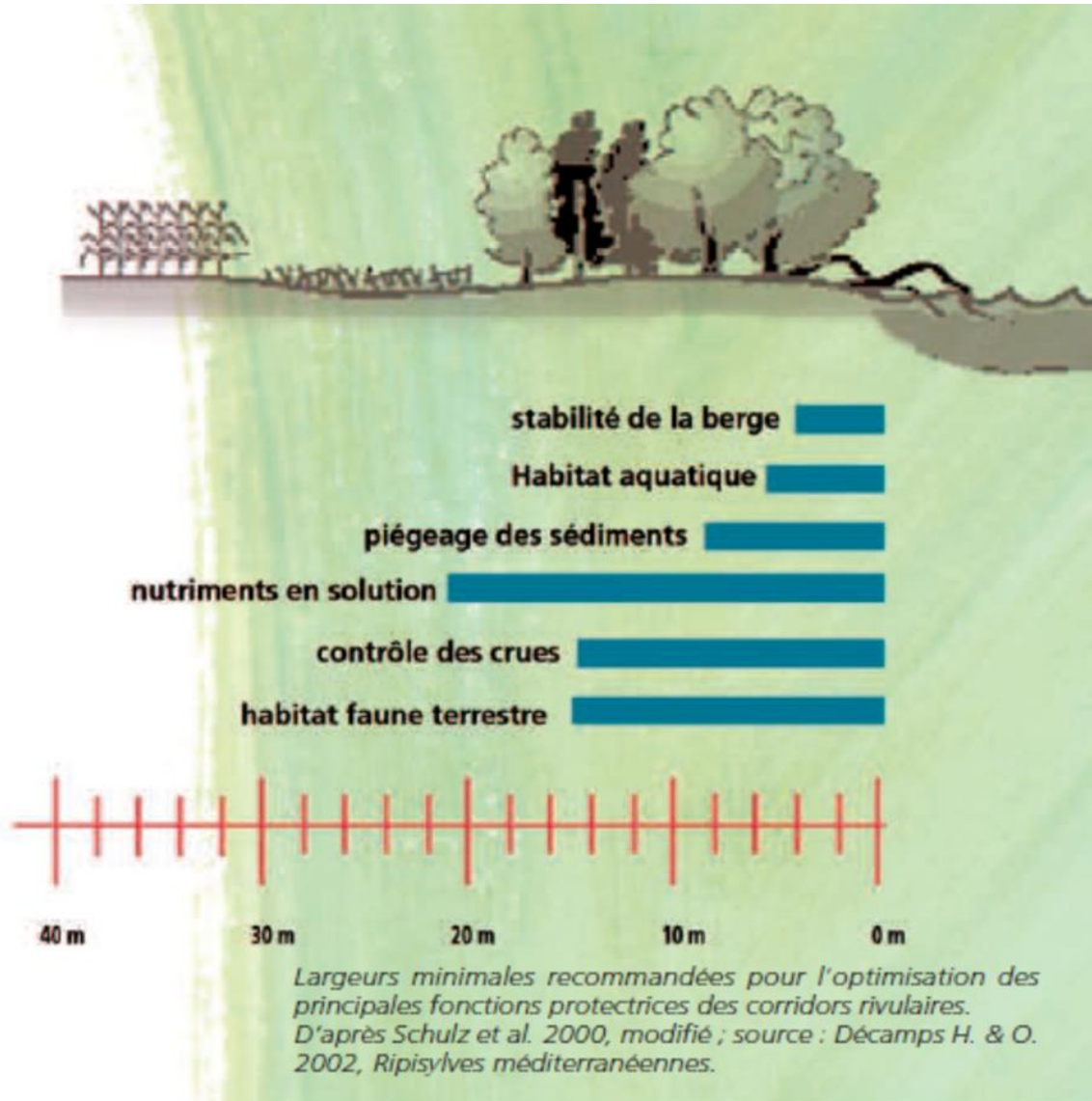


**Figure 6 .** Evolution moyenne de la teneur en phosphore total des eaux en sortie de bande rivulaire, en fonction de sa largeur (Osmond et al., 2002)

- **Ralentissement et infiltration des écoulements provenant des versants.**

# L'efficacité des ripisylves

- Intérêt des ripisylves suffisamment larges, denses, continues et non court-circuitées.



Processus d'autoépuration en cours d'eau nécessitent la présence de carbone organique (Oraison *et al.*, 2011)



# **L'intérêt de préserver et restaurer les cours d'eau pour la qualité des eaux**

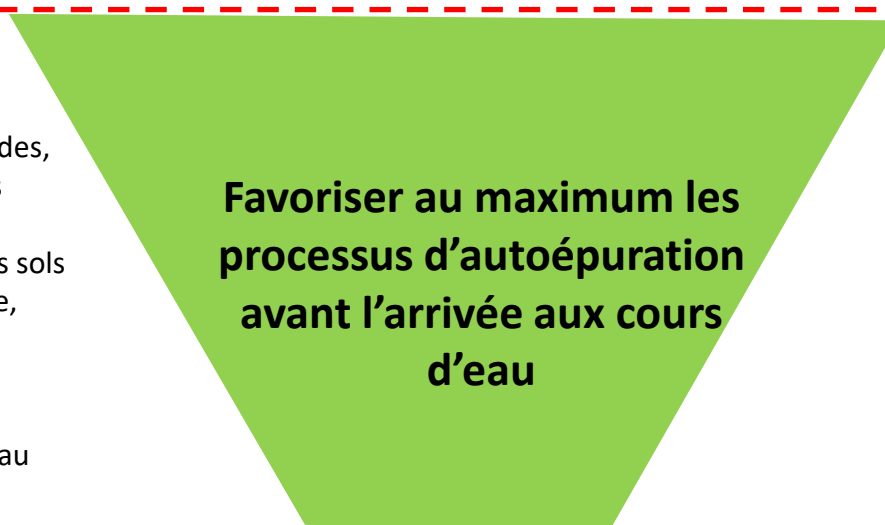


# La restauration des milieux et la qualité de l'eau

● La restauration des milieux est une action complémentaire à la réduction des apports à la source et la limitation de leur transfert aux cours d'eau.



- Couverture permanente des sols (boisements, zones humides, prairies permanentes, bandes boisées ...)
- Couvertures temporaires des sols (ex : CIPAN, prairie temporaire, bandes enherbées ...)
- Bocage (talus, haies)
- Lit majeur
- Zones tampons avec le réseau de drainage ...



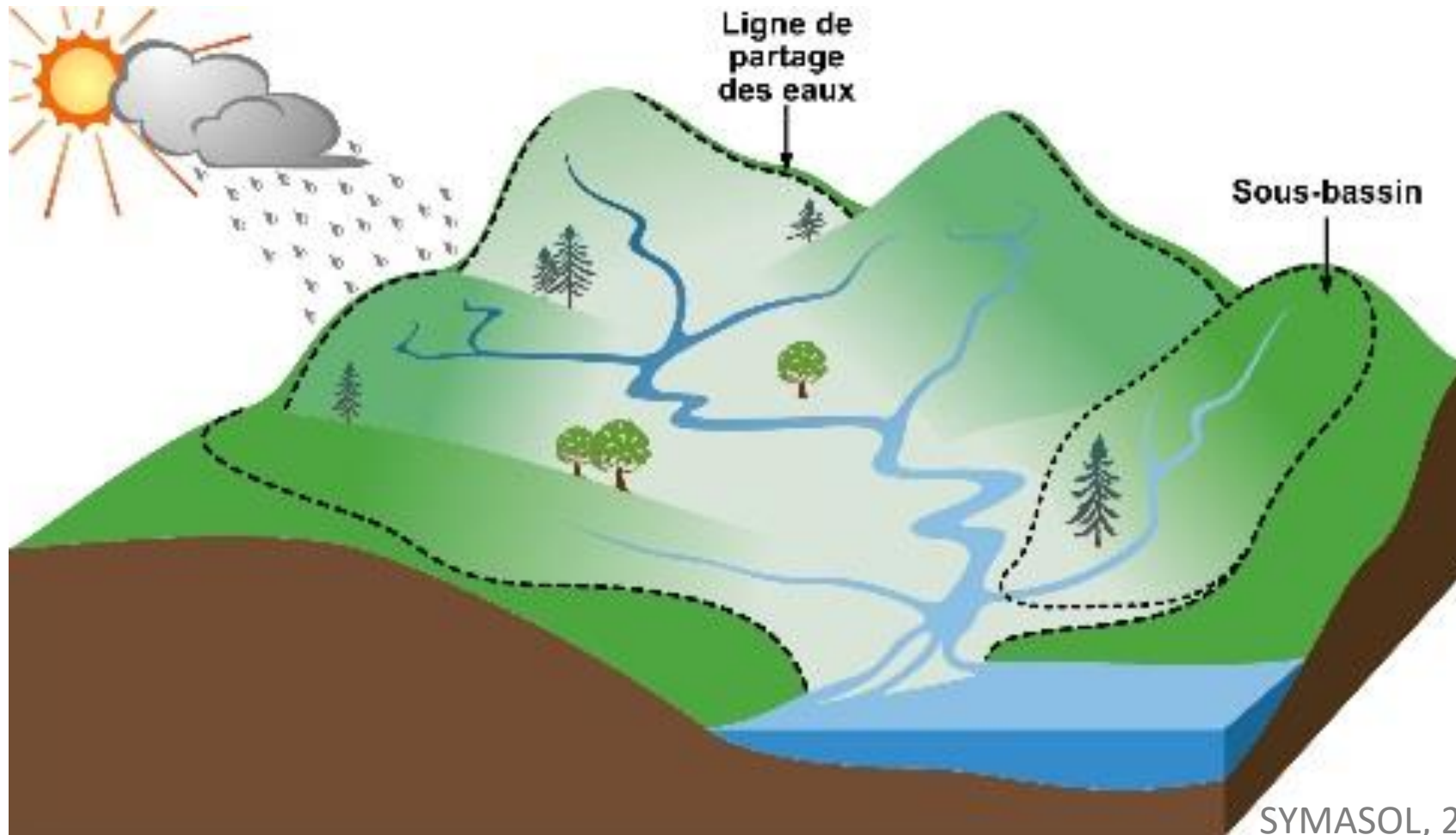
« Rideaux défensifs »  
(zones tampons)

**Restaurer l'hydromorphologie du cours d'eau**

« Ultime rempart »

## Les cours d'eau

- En tant que milieux récepteurs, les cours d'eau concentrent les nutriments d'origine naturelle ainsi que les nutriments et autres polluants en provenance du bassin versant.



SYMASOL, 2022

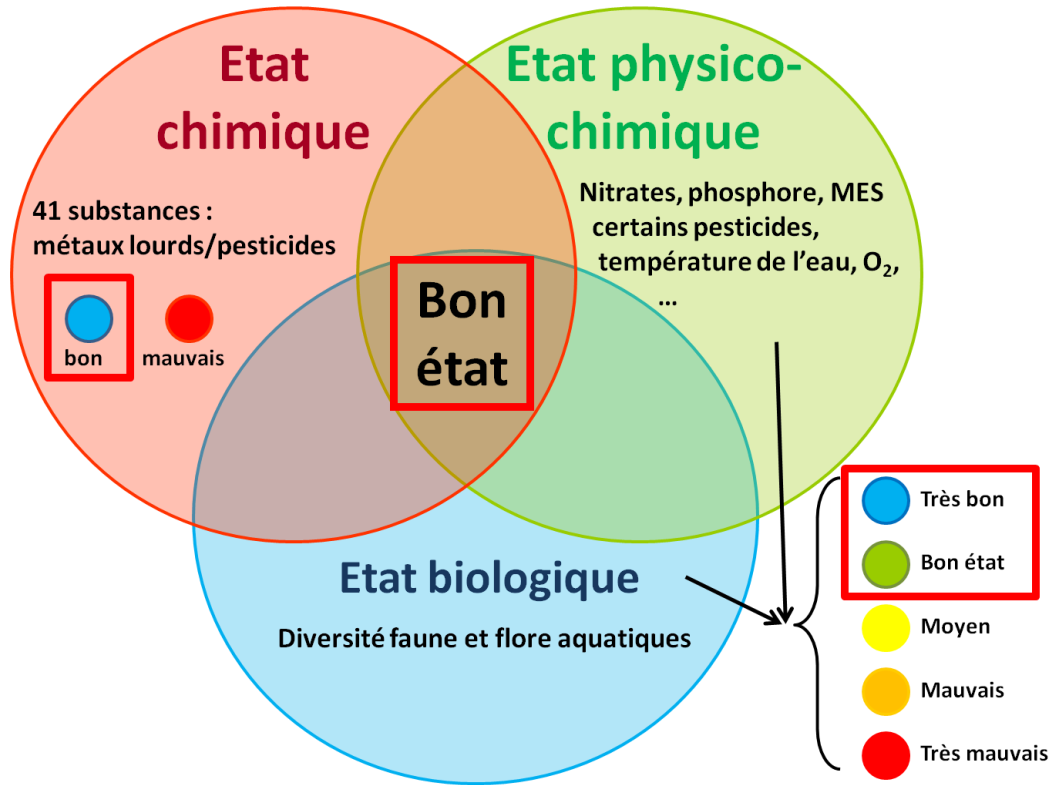
**Le bassin versant**

# La restauration des cours d'eau : des leviers essentiels ...

## AUX ENJEUX DE LA DCE



## AUX ENJEUX DE LA BIODIVERSITE



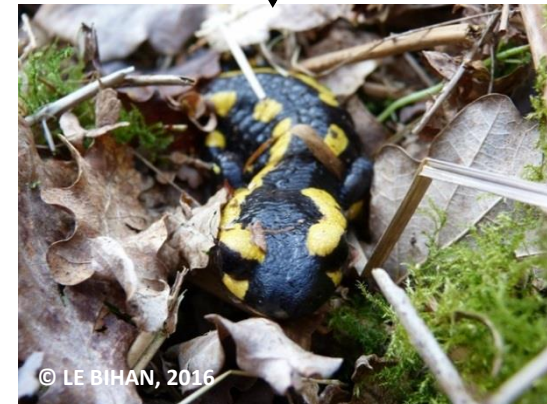
© LE BIHAN, 2016



© LE BIHAN, 2016

habitats

connectivité

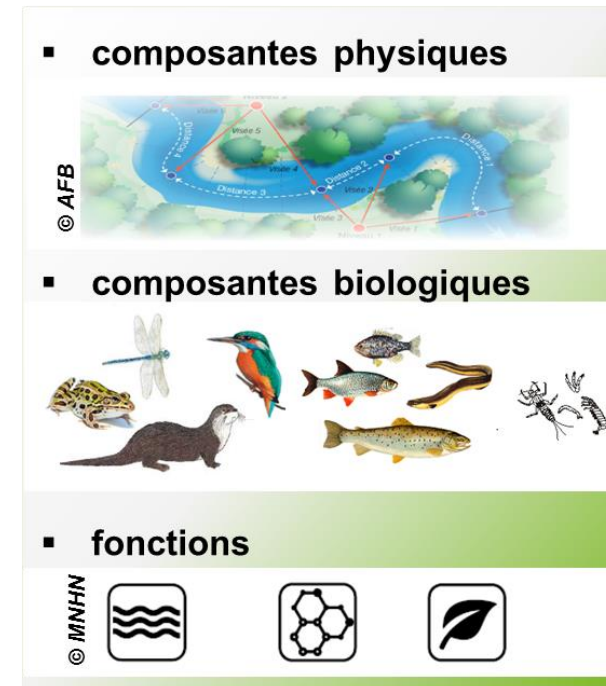


© LE BIHAN, 2016

espèces

## La restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau

- « **La restauration écologique** est une action qui introduit ou accélère le rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit, en respectant sa santé, son intégrité et sa gestion durable » (Society for Ecological Restoration, 2004).
- **Les actions de restauration, visant à retrouver un fonctionnement plus proche de celui d'origine, peuvent améliorer les processus d'auto-épuration** (Oraison *et al.*, 2011).

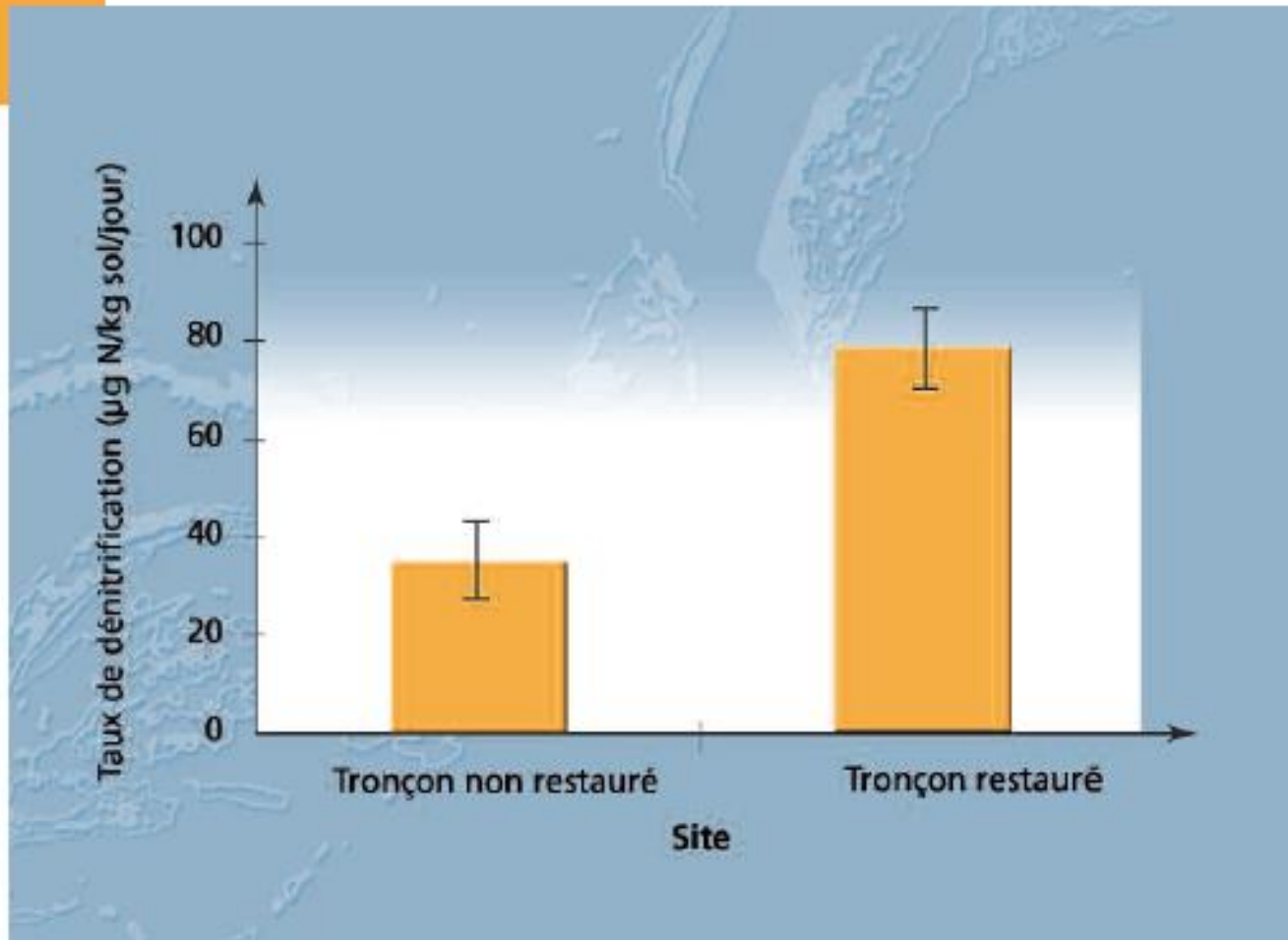


- **Par exemple : l'élimination de l'azote est un processus qui augmente avec la diversité de la structure physique** (méandre, faciès, ripisylve) **jusqu'à un palier de saturation** (Oraison *et al.*, 2011).

## Exemple de résultats de la restauration hydromorphologique sur les nitrates

- Moyenne des taux de dénitrification dans les tronçons restaurés vs tronçons non restaurés (Nicolas *et al.*, 2013).

3



# Exemple de résultats de la restauration hydromorphologique

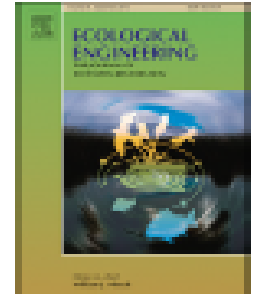
Ecological Engineering 124 (2018) 7–18



Contents lists available at ScienceDirect

## Ecological Engineering

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecoleng](http://www.elsevier.com/locate/ecoleng)



## The multiscale effects of stream restoration on water quality

J. Thompson\*, C.E. Pelc, W.R. Brogan III, T.E. Jordan

Smithsonian Environmental Research Center, Edgewater, MD, USA



### ● Résultats de l'élimination à l'échelle locale :

- 44,8 % du phosphate,
- 45,8 % du phosphore total,
- 48,3 % de l'ammonium,
- 25,7 % du nitrate,
- 49,7 % de l'azote total,
- 73,8% des sédiments en suspension.

A l'échelle étendue : pas d'effets visibles, cela pose la problématique de l'échelle des restaurations

# L'autoépuration des cours d'eau : comment l'améliorer ?





# L'autoépuration des cours d'eau

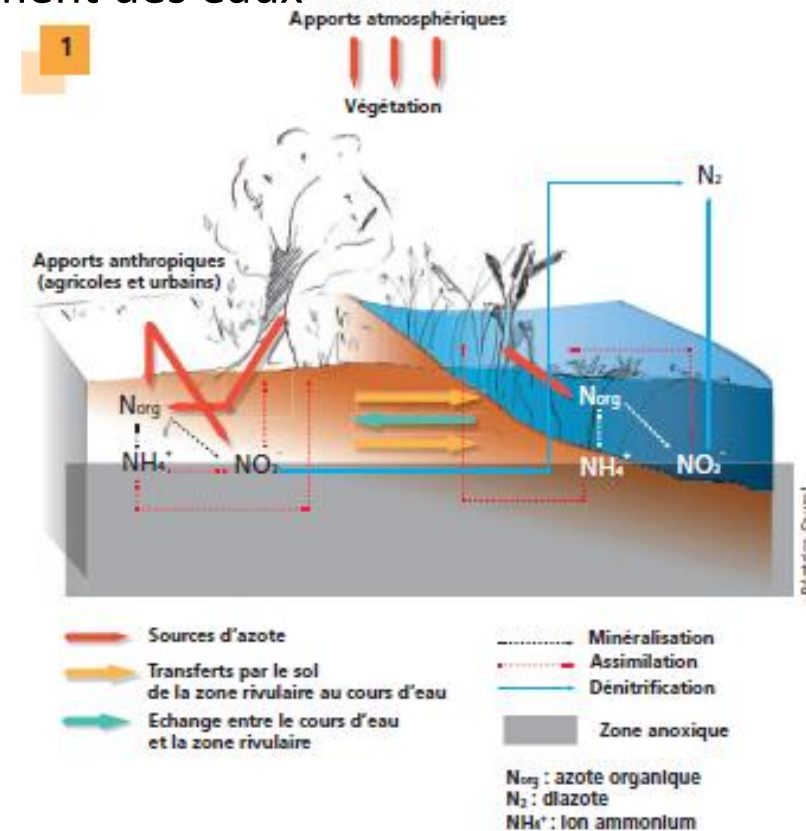
- **Capacités autoépuratoires d'un cours d'eau** : capacités de stocker et transformer une partie des apports, ce qui limite leur transport vers l'exutoire (Oraison *et al.*, 2011).
- **Conditions favorables aux processus d'autoépuration souvent attribuées à une hydromorphologie équilibrée des cours d'eau** : lit diversifié et bien aéré (alternance radier-mouille), ombragé par des ripisylves qui limitent le réchauffement des eaux

-> Conditions défavorables aux proliférations algales

Diversification du milieu favorise la proximité entre des zones anoxiques et oxygénées.

Temps de résidence de l'eau amélioré par la complexité hydromorphologique (Petersen et Petersen, 1991 ; Gooseff *et al.*, 2007).

Dénitrification très variable dans le temps, selon les contextes hydrogéologiques et la concentration en nitrates du cours d'eau, devenant plus faible en période de hautes eaux (Alexander *et al.*, 2009 ; in Tixier *et al.*, 2012).



## Les capacités auto-épuratoire

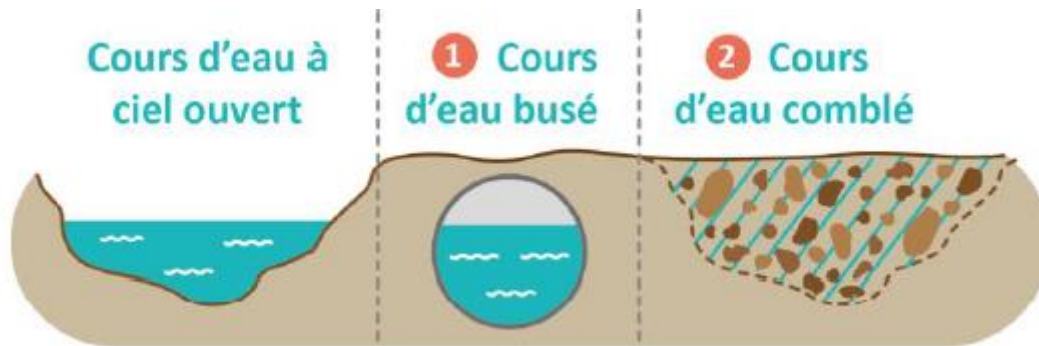
- Au-delà de leur capacité d'autoépuration, les nutriments en excès et substances polluantes sont exportés vers l'aval (Oraison *et al.*, 2011).
- C'est pourquoi il faut toujours garder à l'esprit que la restauration est une action complémentaire à la réduction des apports à la source et la limitation de leur transfert aux cours d'eau (Oraison *et al.*, 2011).



- Intérêt d'évaluer la capacité maximale d'élimination du cours d'eau, exemple du « Total Maximum Daily Load » aux USA (Oraison *et al.*, 2011).

# 1) Remettre à ciel ouvert les cours d'eau enterrés

● **L'enterrement des cours d'eau** : une des perturbations les plus dommageables sur la rétention des nutriments (Oraison *et al.*, 2011).



Guillerme, 2015

● **Un modèle mathématique simulant le remplacement des cours d'eau de rang 1 par des conduites souterraines montre que :**

- la rétention du phosphore du réseau hydrographique diminue de 63% à 34%, ce qui augmente les exportations de phosphore vers l'aval de 179% (Meyer & Wallace 2001 ; in Tixier *et al.*, 2012)



© LE BIHAN, 2009

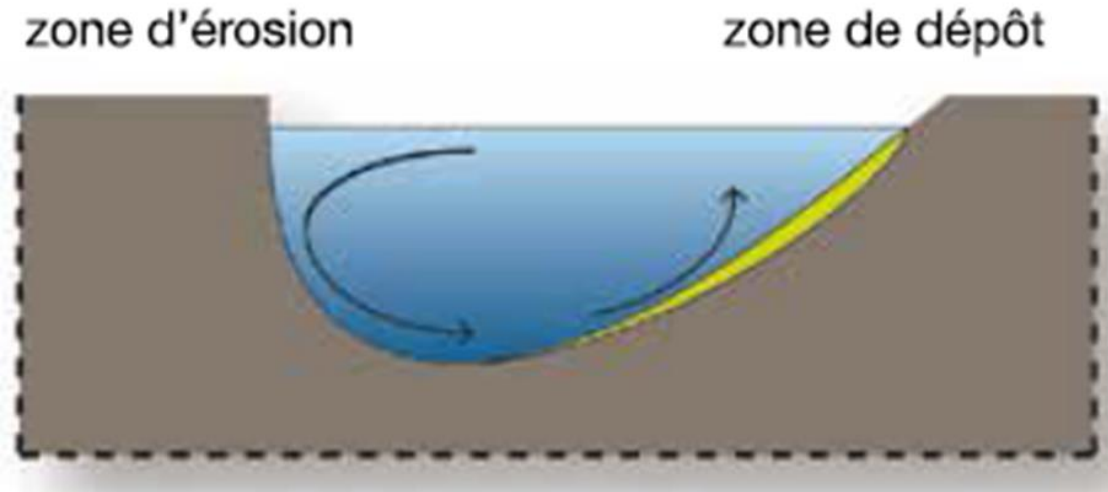
## 2) Reconnecter le lit mineur avec le lit majeur

- Favoriser le débordement du cours d'eau dans son lit majeur (stockage et transformation des Matières En Suspension).



### 3) Restituer les méandres aux cours d'eau naturellement sinueux

- **Dénitrification plus importante dans un cours d'eau à méandres que dans un cours d'eau qui a été rectifié** (Nicolas *et al.*, 2013).



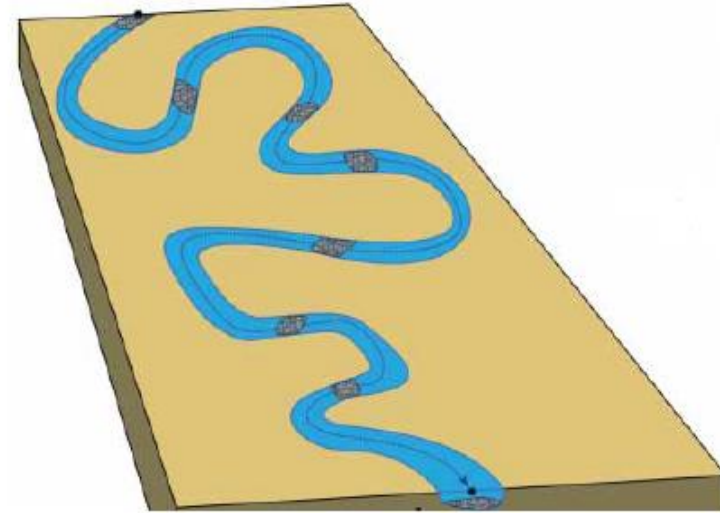
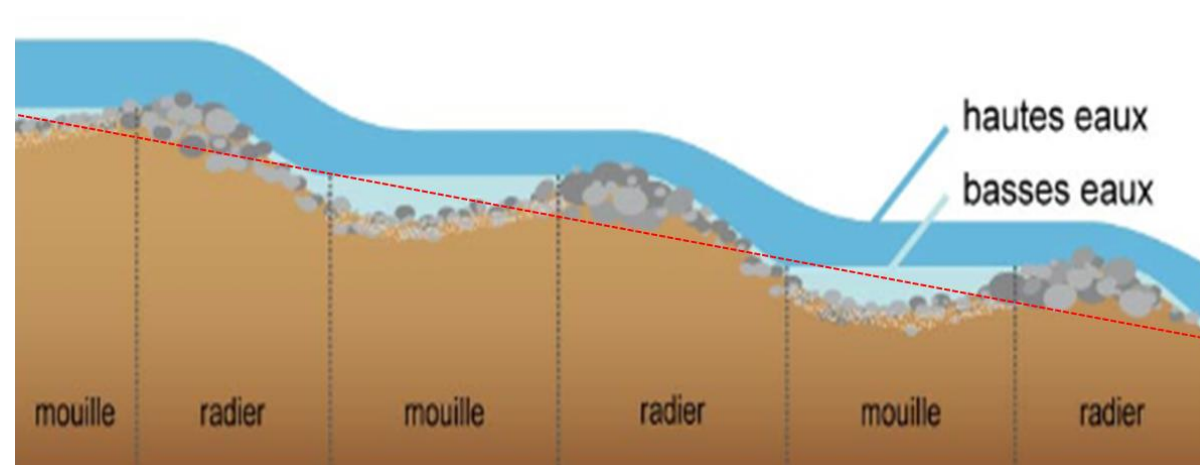
**Question** : Quelles longueurs de cours d'eau canalisés faut-il pour remplacer 2900 km de cours d'eau à méandres concernant l'élimination des nitrates au printemps ? » (Opdyke *et al.*, 2006 ; in Oraison, 2011)

**40 000 km !!**

- **Un indice de sinuosité de 1,9 pour un cours d'eau en zone agricole améliore l'élimination des nitrates de 91 %** (Opdyke *et al.*, 2006 ; in Oraison, 2011)

## 4) Reconstituer l'alternance radier-mouille

- Sur un cours d'eau naturel, les radiers se succèdent à une distance égale à 6 fois la largeur à plein bord du cours d'eau.



Melun, Le Bihan & De Billy, 2020

- Les échanges et processus d'oxygénation se déroulent prioritairement en tête de chaque radier.



© LE BIHAN, 2014



© LE BIHAN, 2009

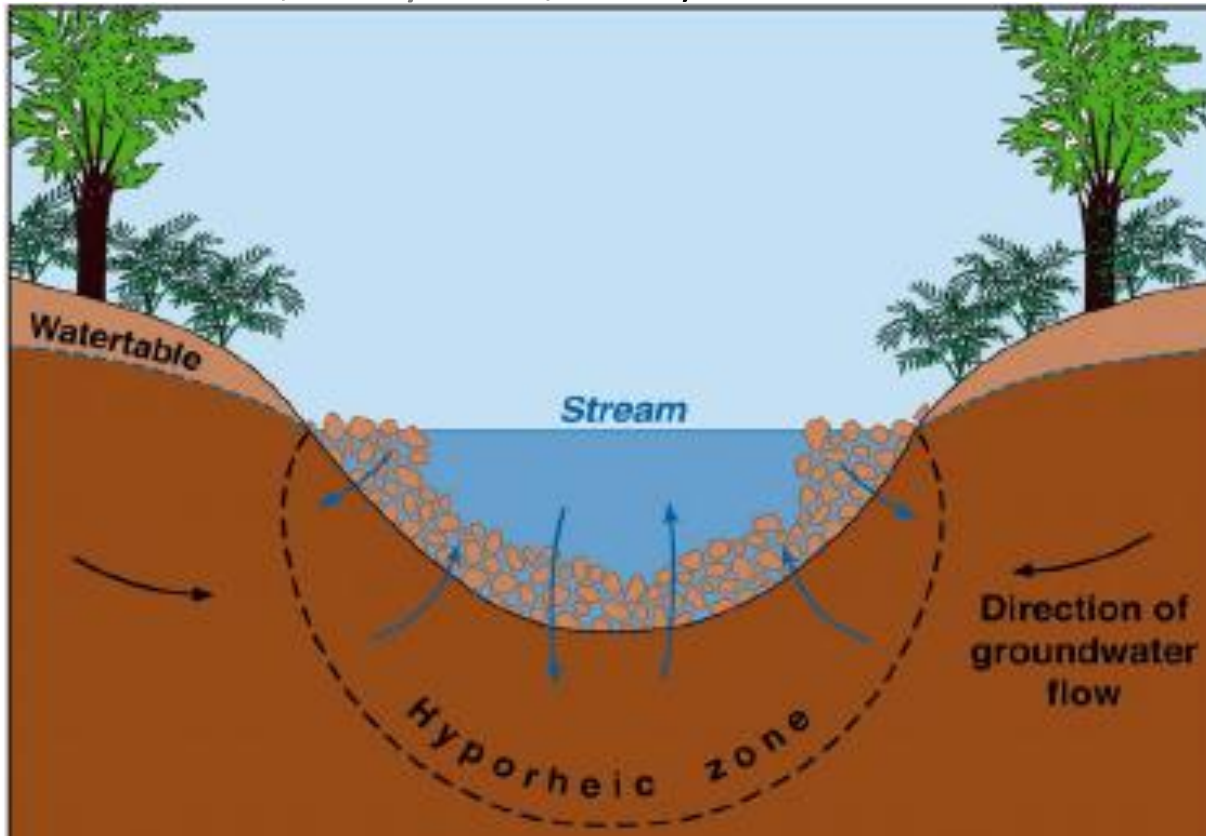


© France Culture, 2022

## 5) Restaurer la zone hyporhéique

### ● La zone hyporhéique

- **Définition** : zone de contact eau de surface - eau souterraine
- **Zone de forte dénitrification** (Thomas *et al.*, 2001\* ; Bohlke *et al.*, 2004 ; Mulholland *et al.*, 2004 ; Datry *et al.*, 2008)

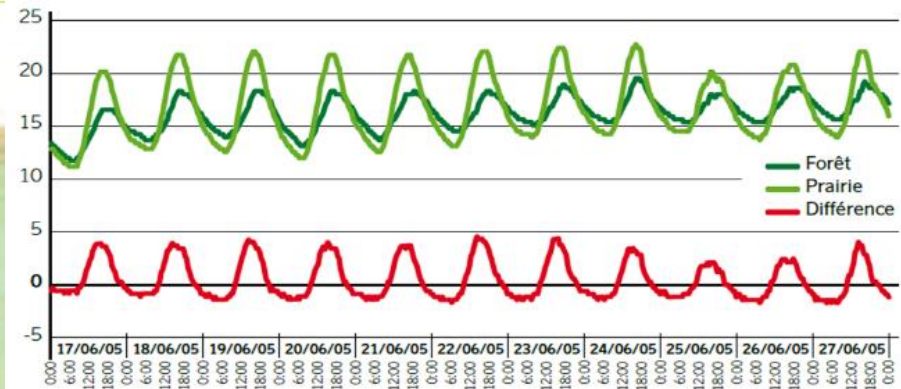


**Contact entre l'eau et les sédiments maximisé dans la zone hyporhéique, augmentant notamment les phénomènes d'adsorption, et les réactions chimiques de transformation des solutés (oxydo-réduction) (Hester & Gooseff, 2010 ; in Tixier *et al.*, 2012)**

## 6) Préserver et restaurer les ripisylves

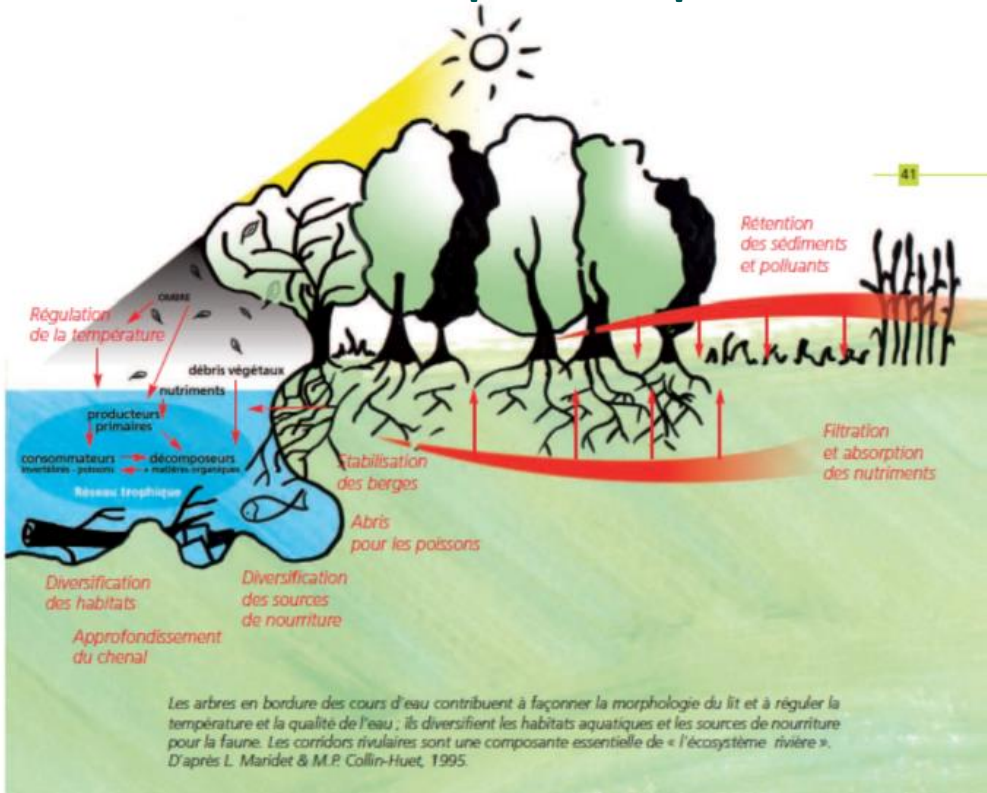
- Quelques km de corridors peuvent réduire la température de 2 à 4 degrés en été
- Effet d'autant plus net que le cours d'eau est petit (jusqu'à 6 à 7° C)

Température °C	Cs mgO <sub>2</sub> /l
0	14,62
1	14,22
2	13,83
3	13,46
4	13,11
5	12,77
6	12,45
7	12,14
8	11,84
9	11,56
10	11,29
11	11,03
12	10,78
13	10,54
14	10,31
15	10,08
16	9,87
17	9,66
18	9,47
19	9,28
20	9,09
21	8,91
22	8,74
23	8,58
24	8,42
25	8,26
26	8,11
27	7,97
28	7,83
29	7,69
30	7,56



Durlet et al., 2009

**Participe également à améliorer les concentrations en oxygène**



CSPNB, 2008

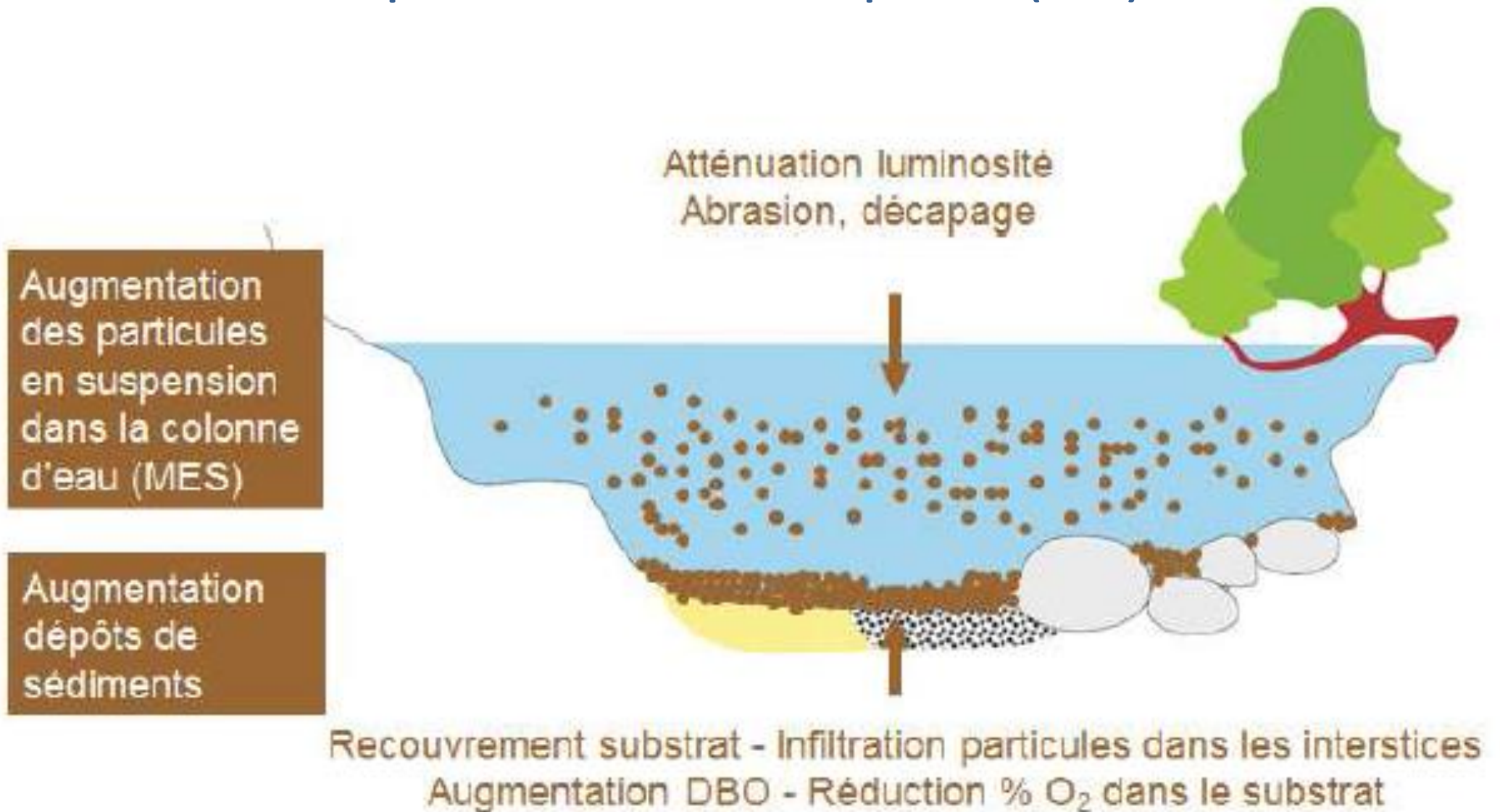
Norme Afnor NF EN 25814



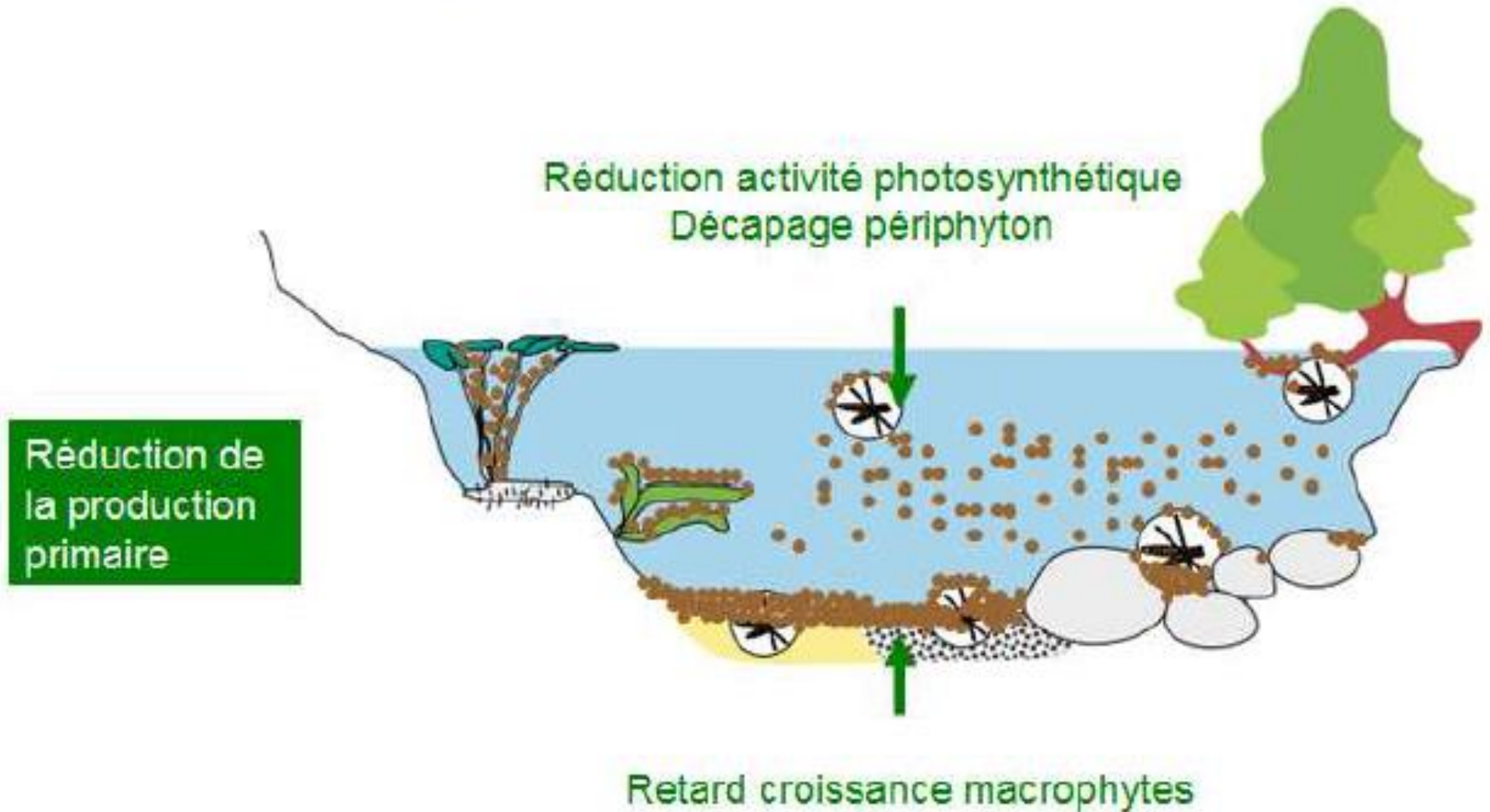
**Des efforts bénéfiques à la biodiversité :**  
**- L'exemple des pollutions par les Matières En**  
**Suspension (M.E.S.)**



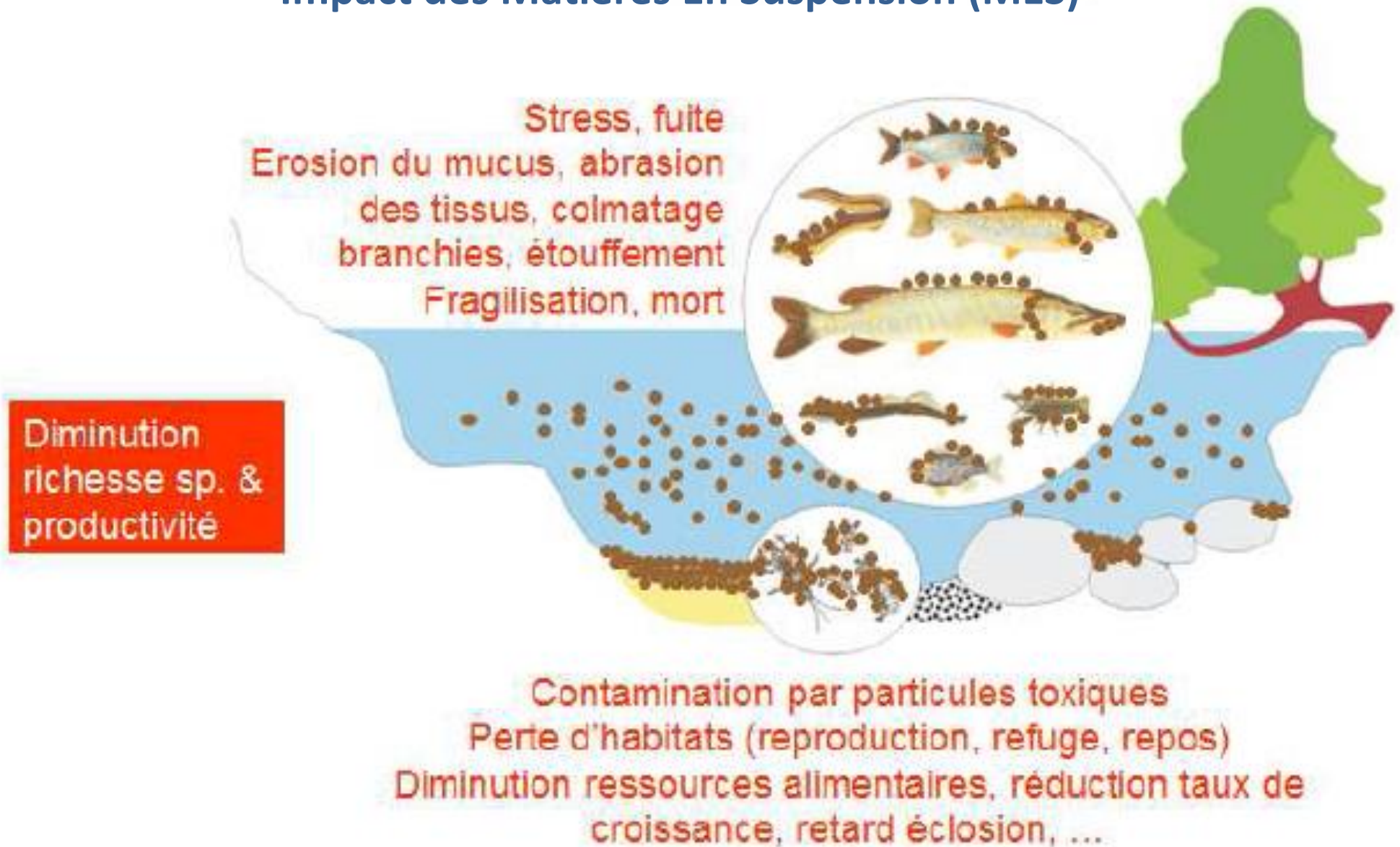
# Impact des Matières En Suspension (MES)



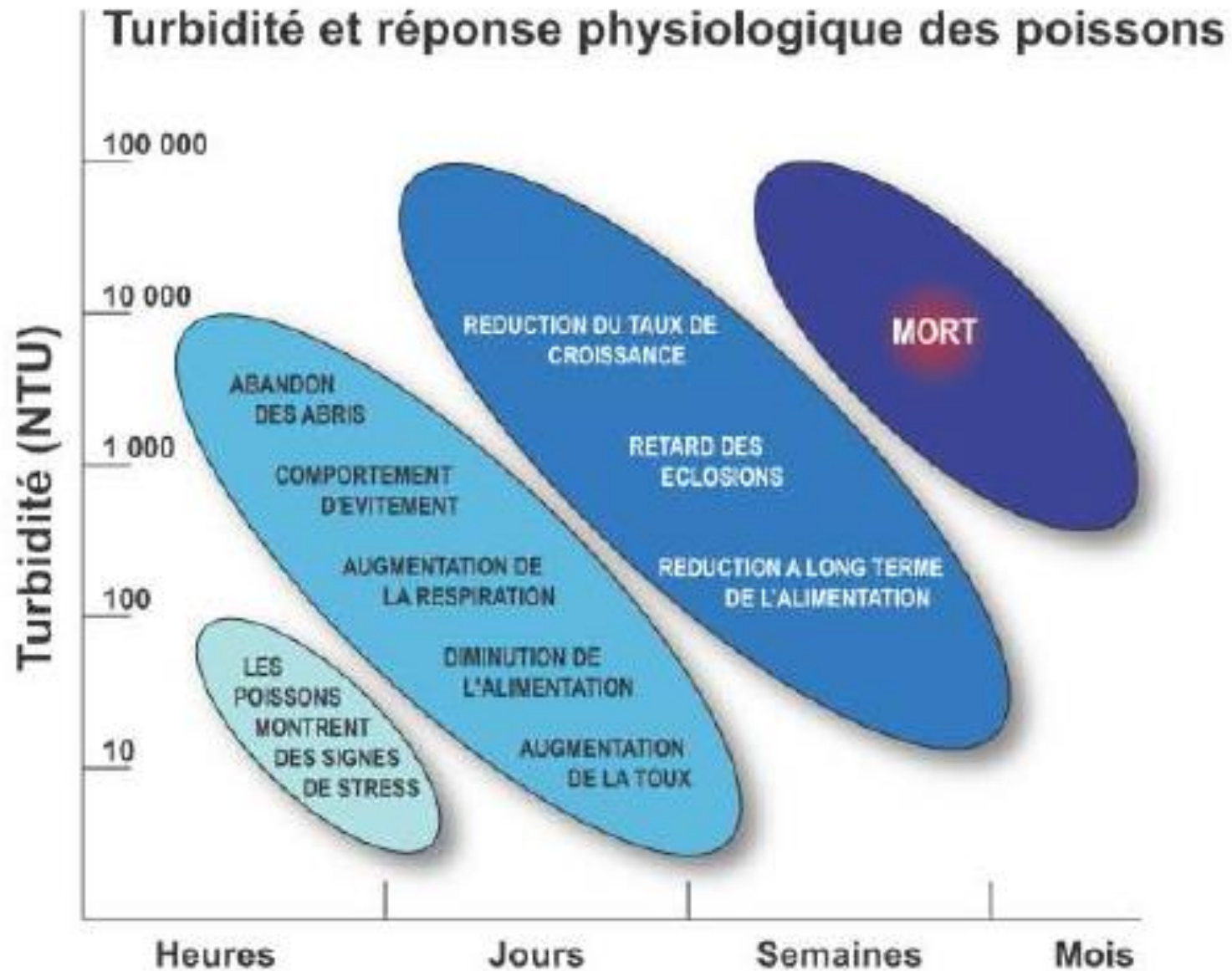
## Impact des Matières En Suspension (MES)



## Impact des Matières En Suspension (MES)



# Impact des Matières En Suspension (MES) sur la faune piscicole



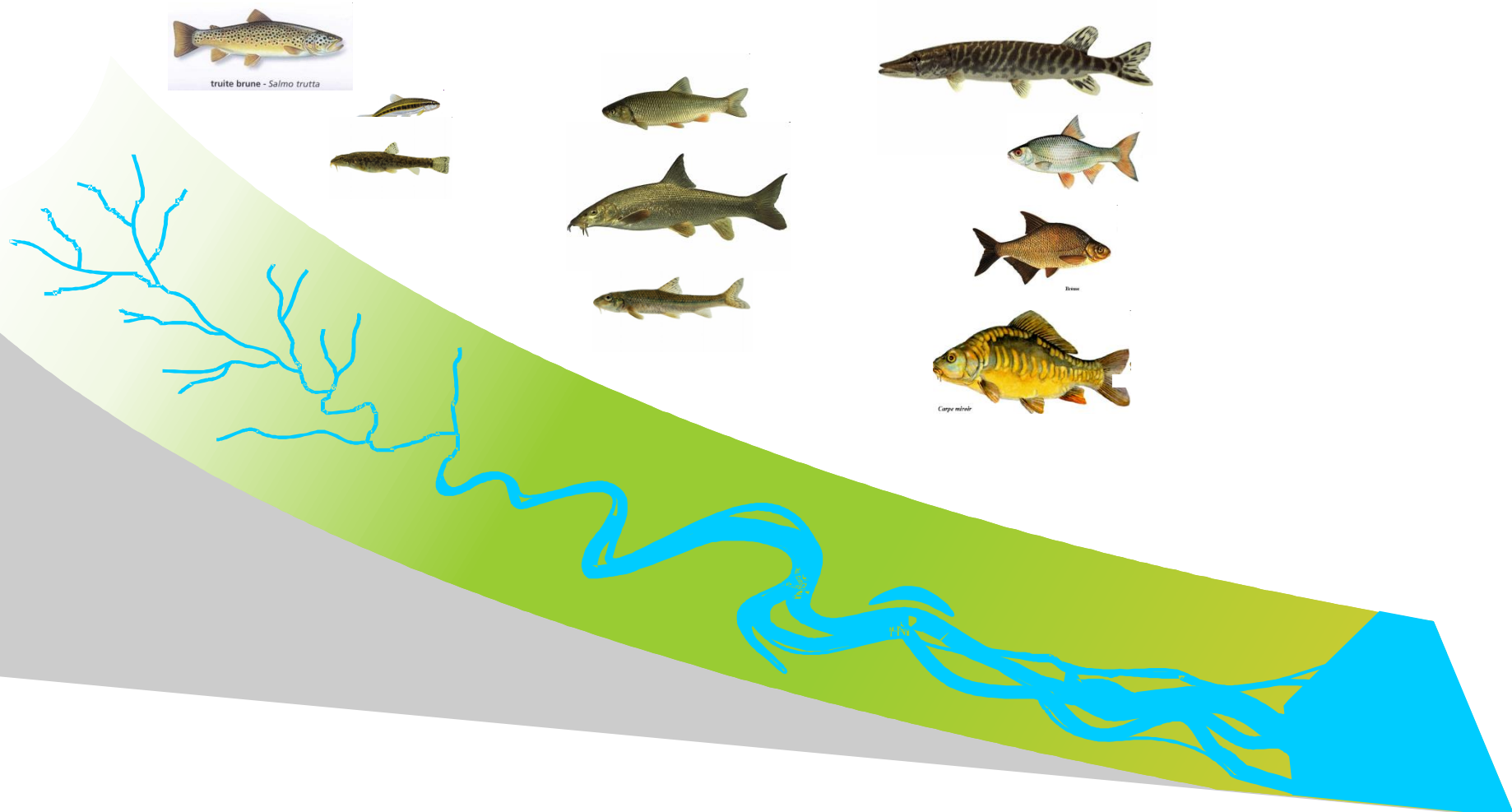
**Faut-il privilégier la restauration des têtes de bassin versant ou des grands cours d'eau ou dans un objectif de qualité des eaux ?**



# Evolution des paramètres physiques de l'amont à l'aval

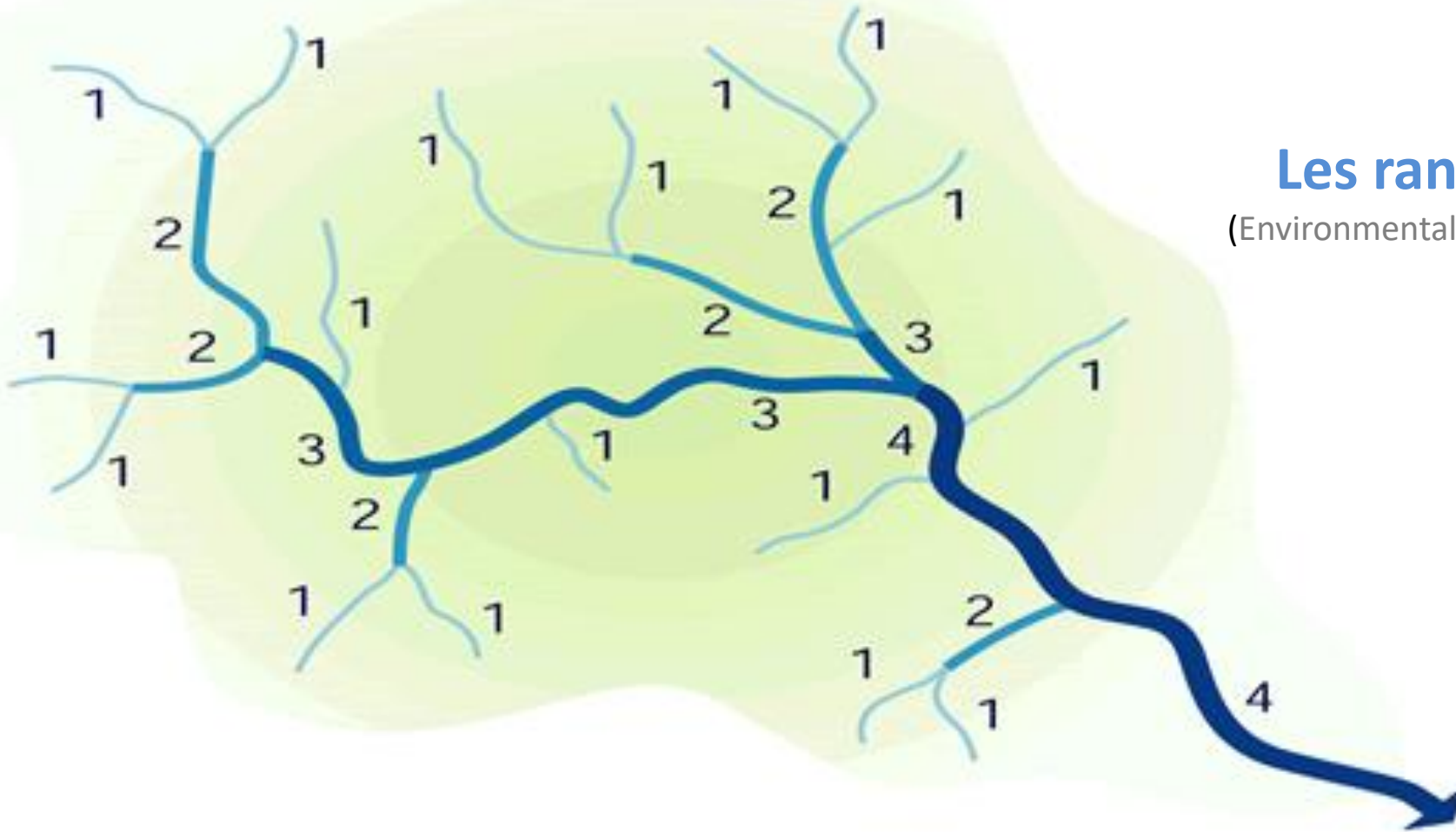
## Evolution de la physico-chimie :

- ✓ **gradient +** : T°(+)  
- débit - largeur - profondeur - trophie....
- ✓ **gradient -** : pente (vitesse) - granulo - oxygène ...



## Les têtes de bassin versant

- **Les têtes de bassin versant : les bassins versants des cours d'eau de rangs de Strahler 1 et 2**



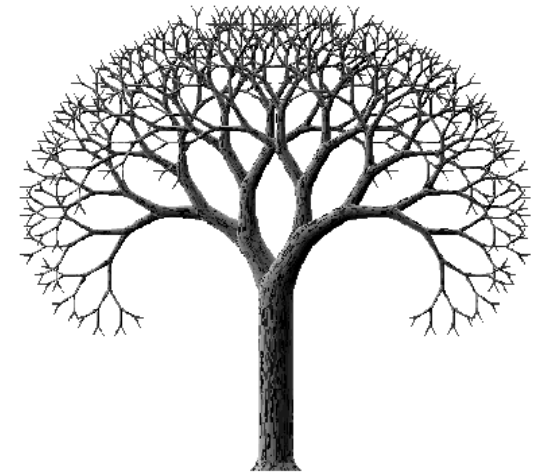
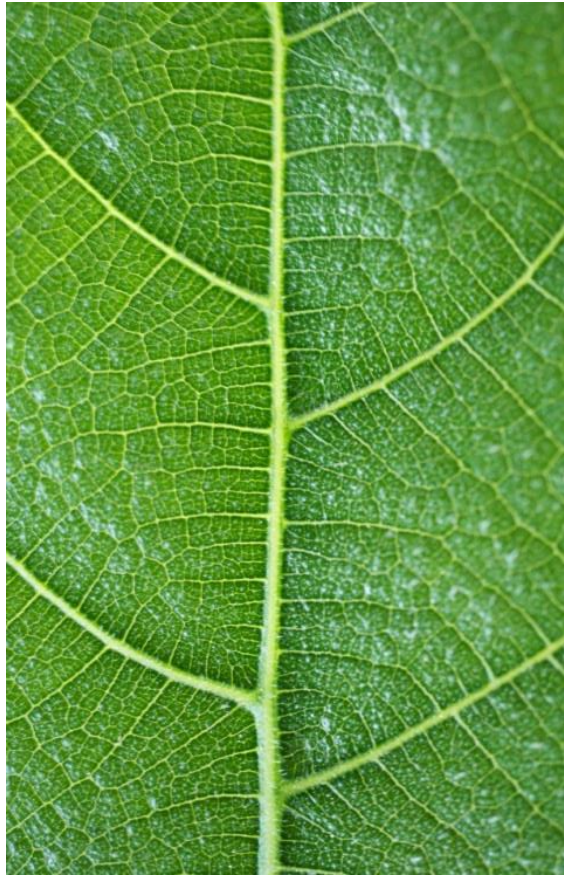
## Les rangs de Strahler

(Environmental Protection Agency, 2009\*)



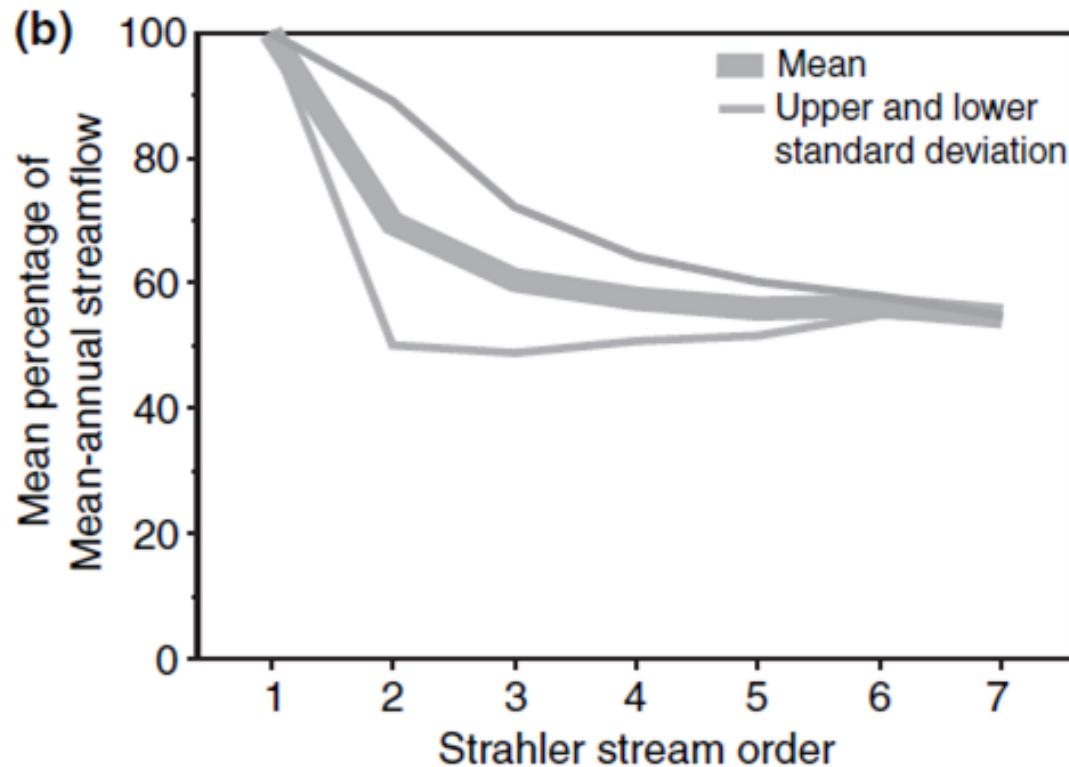
## Les cours d'eau en tête de bassin versant

- **Les cours d'eau en tête de bassin représentent environ de 70 à 85 % de la longueur totale du réseau hydrographique** (Schumm, 1956 ; Shreve, 1969 ; Meyer & Wallace, 2001 ; Peterson *et al.*, 2001 ; Meyer *et al.*, 2003 ; Gomi *et al.*, 2002 ; Benda *et al.*, 2005)



## Les cours d'eau en tête de bassin versant

- Les cours d'eau en tête de bassin versant sont ceux pour lesquels les capacités de dénitrification sont les plus importantes (Oraison *et al.*, 2011).
- 50 à 70% de l'alimentation en eau des cours d'eau d'ordre supérieur (ordre 3 à 7) provient des têtes de bassin versant d'ordre 1 et 2 (Alexander *et al.*, 2007\*)



- Les petits cours d'eau intacts des têtes de bassin, de par leur grande empreise linéaire et la richesse de leurs interfaces, sont primordiaux dans ce processus (Oraison *et al.*, 2011).

## Autoépuration en fonction des débits

### ● Effet du débit sur la rétention de l'azote (Wollheim *et al.*, 2008)

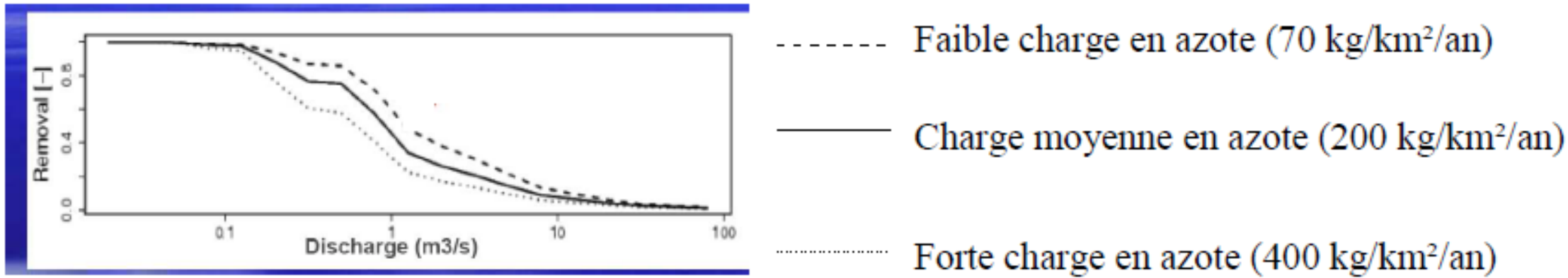
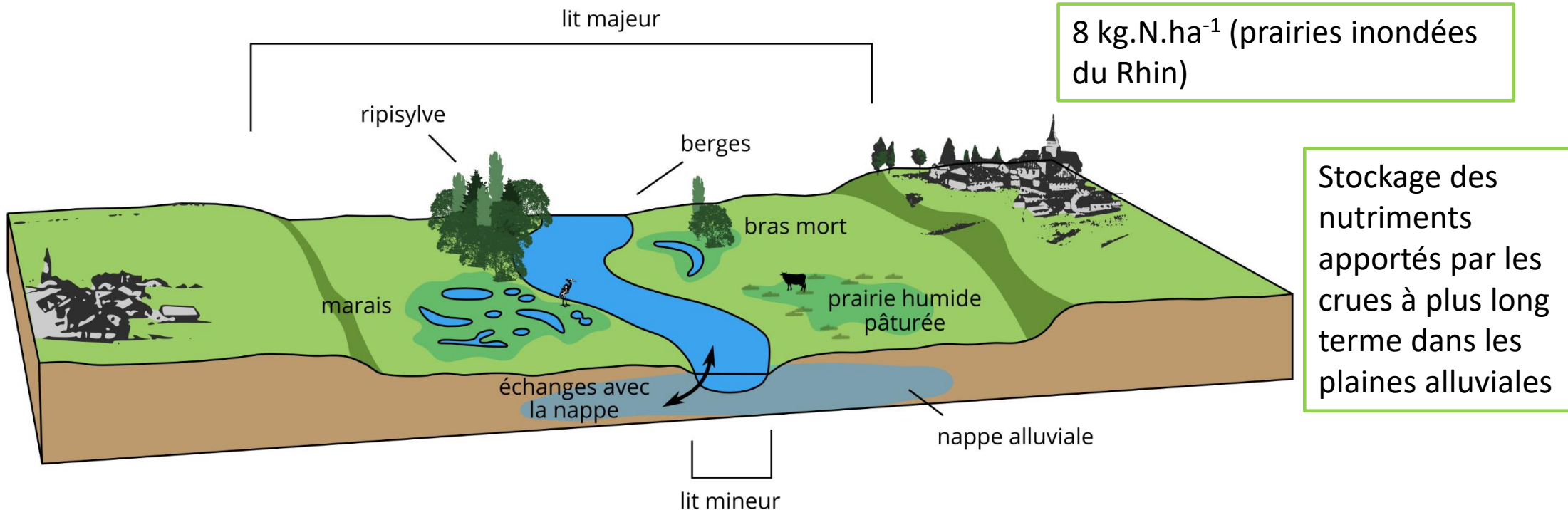


Figure 15 : efficacité d'élimination de l'azote en fonction du débit et de la charge en azote, d'après Wollheim *et al.* 2008

● Les cours d'eau de tête de bassin versant participent à la rétention et à la transformation des matières organiques et minérales par des processus physiques, chimiques et biologiques permettant ainsi de contrôler la qualité et la quantité de matière exportée vers les écosystèmes avals (Alexander *et al.*, 2007 ; Meyer & Wallace 2001 ; Vannote *et al.*, 1980 ; in Tixier *et al.* 2012)

## L'intérêt des plaines alluviales associées aux grands cours d'eau

- La rétention des nutriments pendant l'inondation du lit majeur est principalement due à la sédimentation mais aussi à la dénitrification ainsi que dans une moindre mesure à l'infiltration dans les sols alluviaux.



Office International de l'Eau -

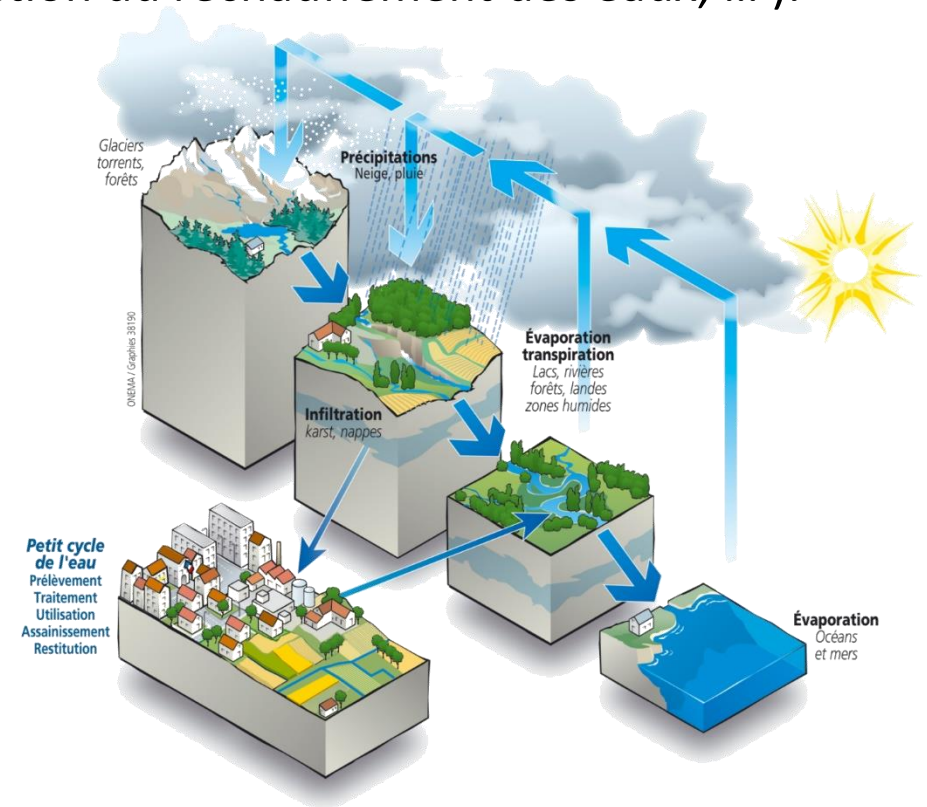
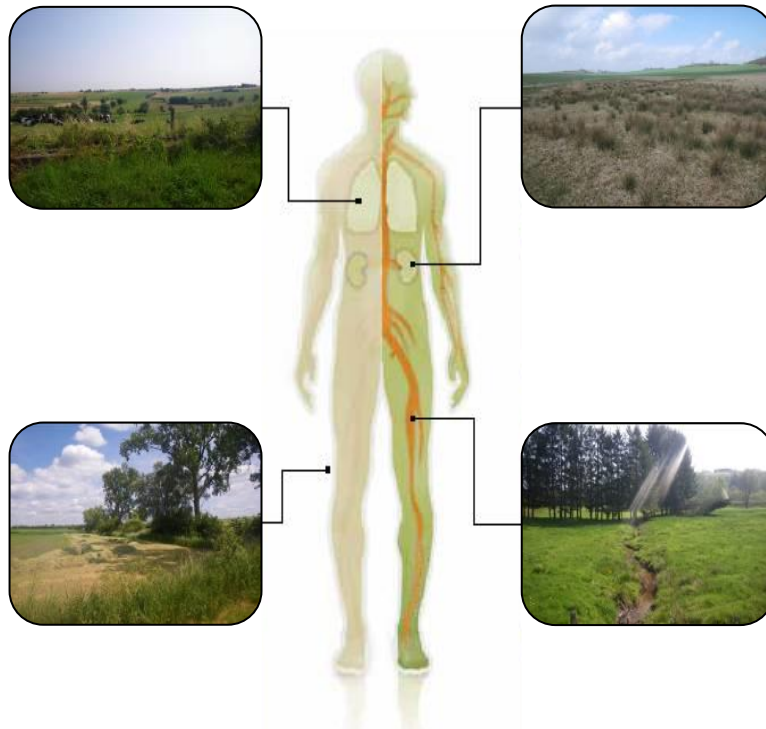
- Capacité auto-épuratoire de la plaine d'inondation peut être réduite lorsque les altérations hydromorphologiques modifient la quantité d'eau qui y transite (exemple : incision qui limitent les périodes d'inondations et d'affleurement de la nappe).

# Conclusion



## Points clés à retenir

1. Considérer la restauration des milieux comme une action complémentaire à la réduction des apports à la source et la limitation de leur transfert aux cours d'eau.
2. Préserver les conditions naturelles et encourager les actions de restauration écologique.
3. Adopter des mesures répondant aux différents objectifs (qualité d'eau, quantité d'eau, inondation, biodiversité, stockage du carbone, réduction du réchauffement des eaux, ... ).



# Pour aller plus loin



Partenariat 2010 - Restauration des milieux aquatiques

## Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ?

Synthèse bibliographique

Version finale

Federica Oraison, Yves Souchon, Kris Van Looy

Pôle hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref  
Lyon

Mars 2011



Comprendre pour agir

## Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ?

Véronique Nicolas,  
Frédérique Oraison,  
Yves Souchon et Kris Van Looy

Sommaire

- Devenir des nutriments dans les cours d'eau
- Un devenir qui dépend des conditions morphologiques
- Quelques exemples de restauration et de leur effet sur les nutriments
- La zone riparienne, un élément important du système
- Les principes d'une restauration favorisant la résilience
- Conclusion
- Pour en savoir plus

NFS

L'augmentation des nutriments dans les cours d'eau conduit dans de nombreux cas à une eutrophication accentuée des milieux. Ce processus complexe affecte tous les compartiments de l'écosystème : perturbations physiques, chimiques et biologiques des eaux, et au-delà, la valeur d'usage des milieux aquatiques. Différents travaux de recherche, notamment en agronomie, portant depuis longtemps sur la diminution des intrants, la réduction des fuites en nitrates et phosphore ou l'atténuation des transferts au sein du bassin versant.

L'eutrophication est due en premier lieu à un excès d'éléments fertilisants azotés et phosphorés dans les eaux. D'autres facteurs entrent cependant en ligne de compte comme l'ensoleillement, la température de l'eau ou encore la vitesse du courant. Ces paramètres dépendent notamment de l'hydromorphologie du cours d'eau.

Par ailleurs, par leur fonctionnement, les hydrosystèmes contribuent à la régulation de divers processus écologiques, qu'ils soient physiques (stockage d'eau dans les plaines d'inondation, recharge des aquifères et soutien d'étiage des cours d'eau par les zones humides), chimiques, ou encore biologiques.

Depuis quelques années, les recherches scientifiques concernant les relations entre hydromorphologie et processus de transformation des nutriments se développent. Une synthèse bibliographique publiée en 2011 par le pôle hydroécologie Onema/irstea fait un point, illustré par quelques exemples, sur les éléments à retenir de l'état des connaissances actuelles.



© 12/04/11



eau & CONNAISSANCE



## ACCOMPAGNER LA POLITIQUE DE RESTAURATION PHYSIQUE DES COURS D'EAU

ÉLÉMENTS DE CONNAISSANCE

Hydromorphologie

BASSIN RHÔNE-MÉDITERRANÉE

Octobre 2016



An aerial photograph of a shallow stream with a rocky and sandy bed. The water is clear, reflecting the sky and the surrounding environment. In the lower half of the image, the reflections of four people are visible in the water, appearing as dark, somewhat blurry shapes. The text 'MERCI DE VOTRE ATTENTION' is overlaid in white, bold, sans-serif font across the middle of the image.

MERCI DE VOTRE ATTENTION



## Synthèse bibliographique

- ALEXANDER R.B., BOYER E.W., SMITH R.A., SCHWARZ G.E. & MOORE, R.B., 2007.** The role of headwater streams in downstream water quality. *Journal of the American Water Resources Association*. **43**(1): 41-59.
- ALEXANDER R.B., BOHLKE J.K., BOYER E.W., DAVID M.B., HARVEY J.W., MULHOLLAND P.J., SEITZINGER S.P., TOBIAS C.R., TONITTO C. & WOLLHEIM W.M., 2009.** Dynamic modeling of nitrogen losses in river networks unravels the coupled effects of hydrological and biogeochemical processes. *Biogeochemistry* 93(1-2), 91-116.
- BENDA L., HASSAN M.-A., CHURCH M. & MAY C.-L., 2005,** Geomorphology of steepland headwaters : the transition from hillslopes to channels, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, **41** (4), 835-851.
- BOHLKE J.K., Harvey J.W., VOYTEK M.A., 2004.** Reachescale Isotope Tracer Experiment to Quantify Denitrification and Related Processes in a Nitrate-Rich Stream, Mid-continent USA., *Limnology and Oceanography*, **49**, 821-838.
- CATALOGNE C. & LE HÉNAFF G. (COORDINATEURS), 2016.** *Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole*. Élaboré dans le cadre du groupe technique Zones tampons. Agence française pour la biodiversité, collection *Guides et protocoles*, 64 pages.
- CEE, 1995,** Utilisation rationnelle et conservation des zones humides, Communication de la Commission au Conseil et au Parlement Européen, CCE, COM (95) 189, 66 pages.
- CORPEN, 2008.** Les zones tampons, un moyen de préserver les milieux aquatiques, 20 pages.
- COLIN M., 2015.** « *Etude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau en tête de bassin versant, évaluation de l'impact des travaux de chenalisation* », Rapport de stage Master 2, ONEMA / Université de Rennes 1, 31 pages + Annexes.
- CSPNB, 2008.** L'arbre, la rivière et l'homme. MEDAD/D4E. 64 p.

## Synthèse bibliographique

- DANY A., 2016.** Accompagner la politique de restauration physique des cours d'eau : éléments de connaissance. Collection «eau & connaissance». Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 304 pages
- DATRY T., DOLE-OLIVIER M.J., MARMONIER P., CLARET C., PERRIN J.F., LAFONT M. & BREIL P., 2008.** La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau, Ingénieries - E A T, **54**, 16 pages.
- DURLET P. COORD., 2009.** Éléments techniques pour la préservation des ruisseaux. PNRM / ONF / ADAPÉMONT / PNRHJ. LIFE04NAT/FR/000082. 80 pages.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2009.** Stream corridor structure [en ligne], disponible sur <http://www.epa.gov/watertrain/stream/r11.html>.
- GOMI, T., R. C. SIDLE, AND J. S. RICHARDSON. 2002.** Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. *Bioscience* **52**:905–916.
- GOOSEFF M.N., HALL JR R.O. & TANK J.L., 2007.** Relating transient storage to channel complexity in streams of varying land use in Jackson Hole, Wyoming. *Water Resources Research*. **43**(1) : art. n°. W01417
- GUILLERME, 2015.** Caractérisation de la pression « enterrement des cours d'eau » sur le territoire Bretagne – Pays de la Loire, ONEMA / Université de Rennes 1, Rapport de stage de Master 2, 30 pages.
- HESTER E.T. & GOOSEFF, M.N., 2010.** Moving beyond the banks : hyporheic restoration is fundamental to restoring ecological services and functions of streams. *Environmental Science & Technology*, **44**, 1521-1525.
- HURST M.R., SHEAHAN D.A., 2003,** The potential for oestrogenic effects of pesticides in headwater streams in the UK, *The Science of the Total Environment*, **301**,87-96.
- LE BIHAN, 2012,** Réunion d'information sur les têtes de bassin versant : connaissance, méthodes, outils et perspectives, Support de présentation, 185 pages.

## Synthèse bibliographique

**LE PIMPEC, 2012.** Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques, Collection Guide et Protocole de l'AFB, Guide technique police de l'eau, 164 pages.

**MALAVOI, 2011.** Formation ONEMA sur l'hydromorphologie des cours d'eau, Supports de présentation, 1014 pages.

**Mc DONALD D., de BILLY V. & GEORGES N., 2017.** Bonnes pratiques environnementales. Cas de la protection des milieux aquatiques en phase chantier : anticipation des risques, gestion des sédiments et autres sources potentielles de pollutions des eaux. Collection *Guides et protocoles*, guide technique Agence Française de la Biodiversité, Direction générale déléguée « Actions territoriales », Direction du Contrôle des Usages, 176 pages.

**MARIDET, L., 1995.** Rôle des formations végétales riveraines. Recommandations pour une gestion régionalisée. Rapport final, Cemagref BEA/LHQ, Ministère de l'Environnement, Direction de l'Eau, SDMAP PARIS, 69 p.

**MELUN G., LE BIHAN M., DE BILLY V. 2021.** Guide de préconisations techniques pour l'exploitation alluvionnaire et la réhabilitation hydromorphologique des criques guyanaises. Office français de la biodiversité, collection *Guides et protocoles*, 176 pages.

**MEYER J.L. & WALLACE J.B., 2001,** Lost Linkages and Lotic Ecology : Rediscovering Small Streams, *Ecology : Achievement and Challenge*, 295-317.

**MEYER J.L., KAPLAN L.A., NEWBOLD J.D., STRAYER D., WOLTEMADE C.J., ZEDLER J.B., BEILFUSS R., CARPENTER Q., SEMLITSCH R., WATZIN M.C. & ZEDLER P.H., 2003.** Where rivers are born: the scientific imperative for defending small streams and wetlands, Sierra club Foundation and The Turner Foundation and American Rivers, 24p.

## Synthèse bibliographique

**MULHOLLAND P.J., VALETT H.M., WEBSTER J.R., THOMAS S.A., COOPER L.W., HAMILTON S.K., PETERSON B.J., 2004.** Stream Denitrification and Total Nitrate Uptake Rates Measured Using a Field <sup>15</sup>N Tracer Addition Approach, *Limnology and Oceanography*, **49**, 809-820.

**NICOLAS V., ORAISON F., SOUCHON Y. ET VAN LOOY K., 2012.** Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ? Onema. 8 pages.

**OPDYKE M.R., DAVID M.B. AND RHOADS B.L., 2006.** Influence of geomorphological variability in channel characteristics on sediment denitrification in agricultural streams. *Journal of Environmental Quality*. **35**(6) : 2103-2112.

**ORAISON F., SOUCHON Y. ET VAN LOOY K., 2011.** Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments : une voie commune ? Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Irstea Lyon MAEP-LHQ, Lyon. 42 p.

**OSMOND, D.L., GILLIAM, J.W. AND EVANS, R.O., 2002.** Riparian Buffers and Controlled Drainage to Reduce Agricultural Nonpoint Source Pollution, North Carolina Agricultural Research Service Technical Bulletin 318. North Carolina State University, Raleigh, NC.

**PETERSON B.J., WOLLHEIM W.M., MULHOLLAND P.J., WEBSTER J.R., MEYER J.L., TANK J.L., MARTI E., BOWDEN W.B., VALETT H.M., HERSHEY A.E., MCDOWELL W.H., DODDS W.K., HAMILTON S.K., GREGORY S. & MORRALL D.D., 2001.** Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams. *Science* 292(5514), 86-90.

**REYJOL, 2011.** Support de présentation. ONEMA.

**SCHUMM S.A., 1984.** The Fluvial System, *John Wiley and Sons*, New York.

**SER, 2004.** Abécédaire sur l'écologie de la restauration de la SER Internationale. *Society for Ecological Restoration*, 15 p.

## Synthèse bibliographique

- SHERBIVIN A.D., LEHNER B. et al., 2012.** World dams since 1800, Université du Colorado, disponible sur <http://blogs.afp.com/geopolitics/?post/2012/06/18/Heaven-our-canvas%2C-Earth-our-clay> (consulté le 24 mai 2013), film, 29 secondes.
- SHREVE R.W., 1969.** Stream lengths and basin areas in topologically random channel networks, *Journal of Geology*, **77**, 397-414.
- THOMAS S.A., VALETT H.M., MULHOLLAND P.J., FELLOWS C.S., WEBSTER J.R., DAHM C.N., PETERSON C.G., 2001.** Nitrogen Retention in Headwater Streams : The Influence of roundwater - Surface Water Exchange, *The Scientific World*, **1**, 623-631.
- THOMPSON J., PELC C.E., BROGAN W.R & JORDAN T.E., 2018.** The multiscale effects of stream restoration on water quality. *Ecological Engineering*, **124**, 7-18.
- TIXIER G., DANGER M., FELTEN V., MAUNOURY-DANGER F., DEVIN S. ET GUÉROLD F., 2012.** Enjeux des têtes de bassins versants. Rapport d'étape ONEMA/LIEC, partenariat 2011-2014. 38 pages.
- VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., SEDELL J.R. & CUSHING C.E., 1980,** The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**, 103-137.
- WOLLHEIM,W.M., PETERSON, B.J., THOMAS, S.M., HOPKINSON, C.H. AND VÖRÖSMARTY, C.J., 2008.** Dynamics of N removal over annual time periods in a suburban river network. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. **113(G3): G03038.**