

Etat des connaissances et recommandations techniques pour réduire les impacts environnementaux du Réseau Hydraulique Annexe (fossés, drains) en contexte rural



Mikaël Le Bihan
Direction Bretagne de l'OFB

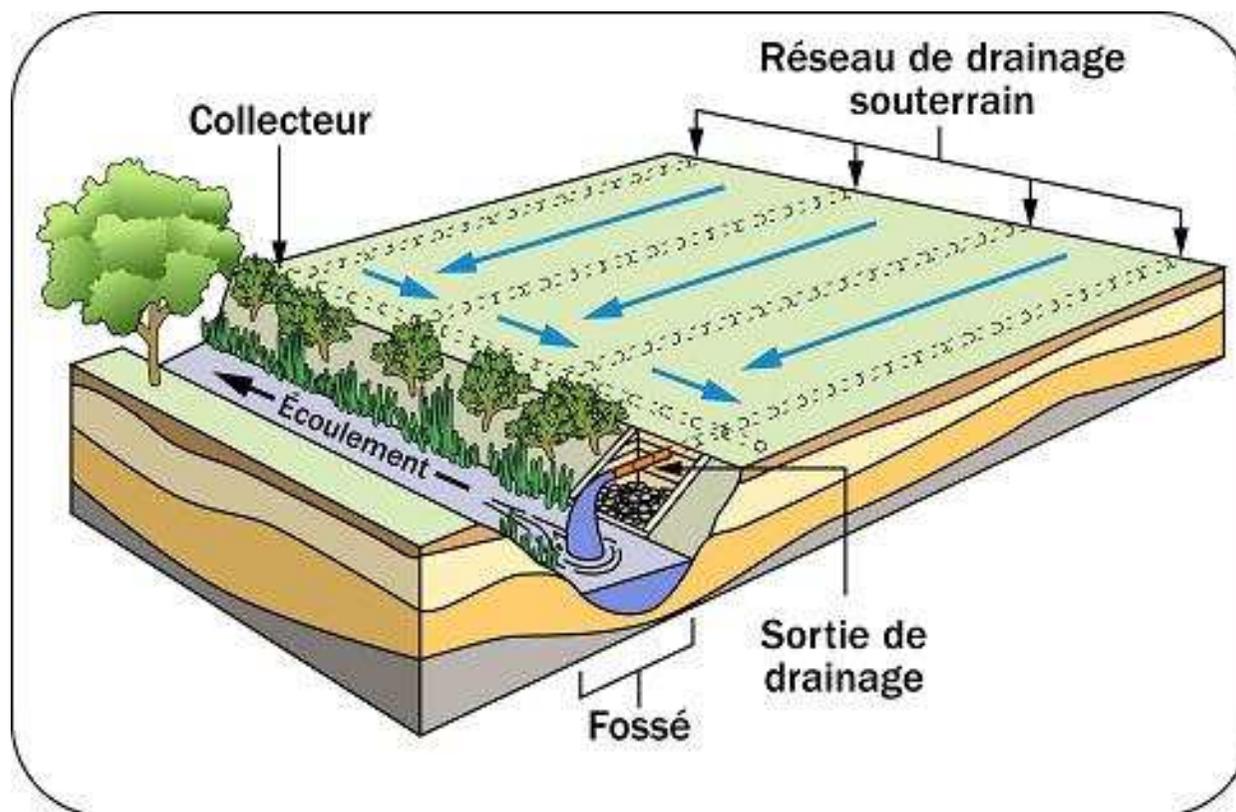
5 Mai 2022

Généralités sur le réseau de fossés et de drains



Les fossés et les drains

- **Fossé** : élément linéaire artificiel de collecte et d'écoulement des eaux de pluie, des eaux usées, de ruissellement ou de drainage (Dollinger *et al.*, 2014).
- **Réseau Hydraulique Annexe (RHA)** : réseau hydraulique artificiel incluant les fossés et les drains souterrains.



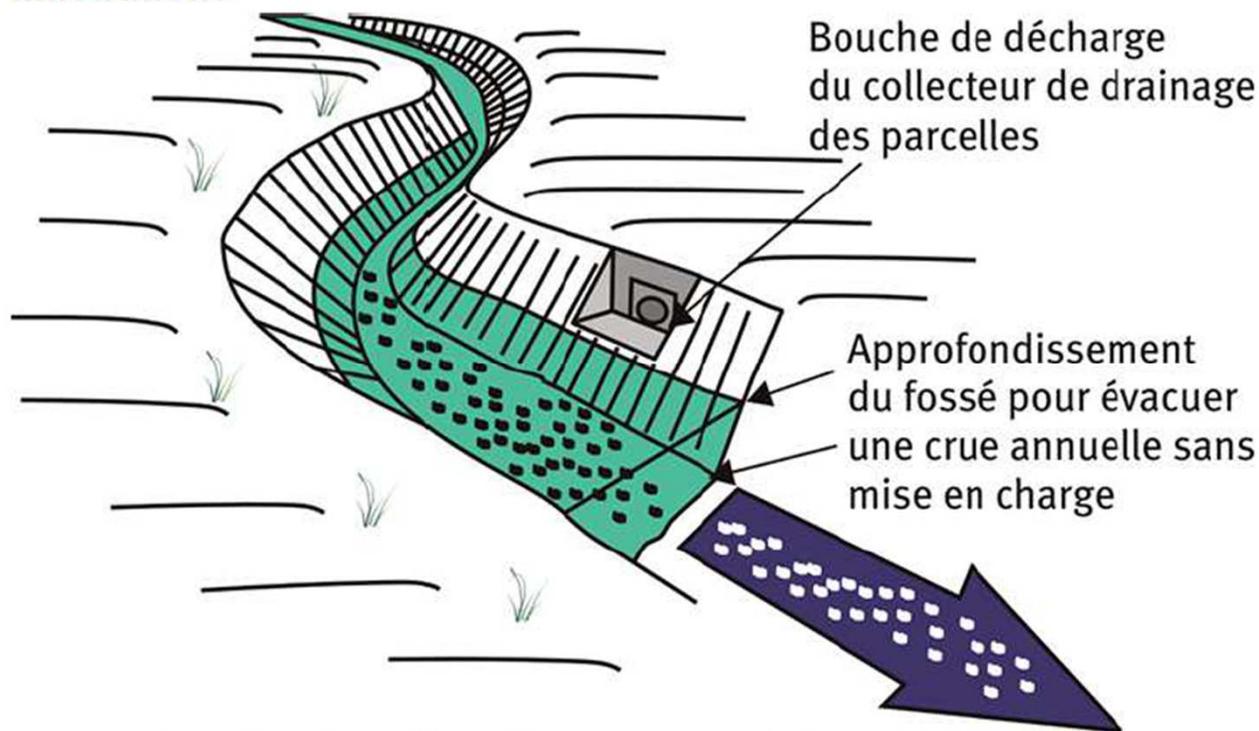
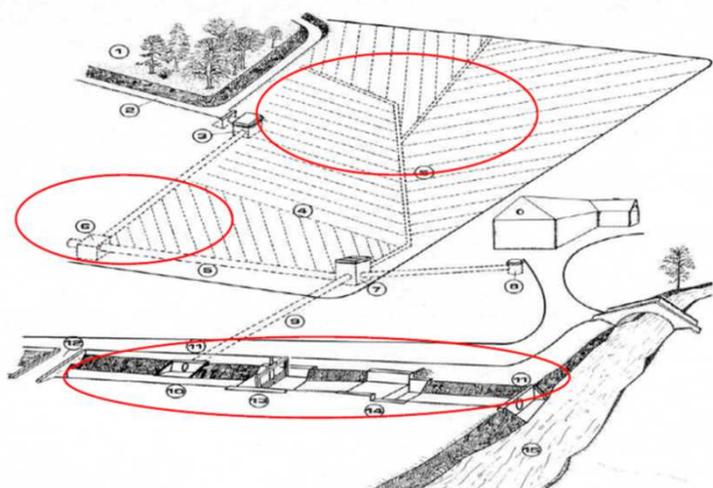
OMAFRA, 2019

- **2 grandes catégories de fossés** : fossés agricoles et fossés de voiries.

Les drains enterrés

- Drains généralement espacés de 10 à 12 mètres pour une profondeur d'environ 0,9 m

Illustrations



Connexion réseau de drainage et fossé d'assainissement agricole.

Tournebize *et al.*, 2020

Drain :
0,8m < profondeur < 1,1m
0,5% < pente < 5%

Collecteur :
0,8m < profondeur < 1,3m
0,2% < pente < 5%

Tournebize *et al.*, 2015

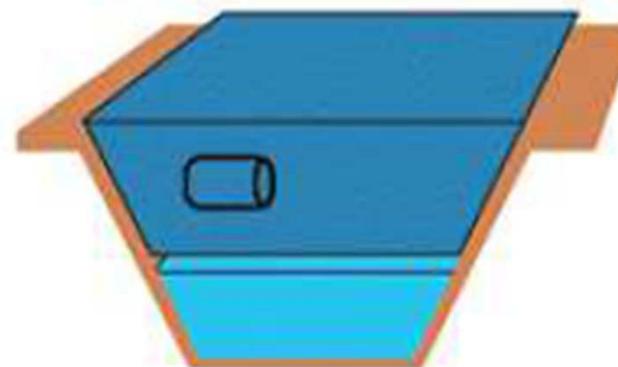
Dimensionnement du réseau de drainage

- **Dimensionnement** : pluie de retour annuelle de 3 jours, soit un évènement fréquent de l'ordre de 15 mm/j.
- **Le fossé est dimensionné afin que le collecteur de drainage débouche au-dessus de la ligne d'eau en crue de période de retour annuelle entraînant :**
 - ✓ Un approfondissement conséquent des réseaux de surface (cours d'eau ou fossés) jusqu'à 3 m de fond, empêchant les débordements.
 - ✓ Une chenalisation des écoulements favorisant un transfert rapide vers l'aval.

Avant drainage

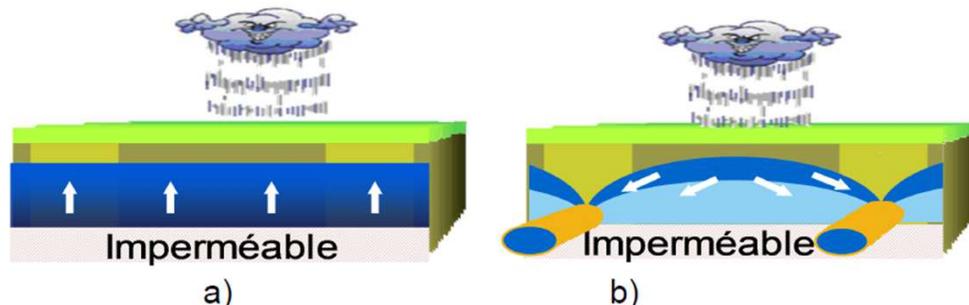


Après drainage



Rôles et fonctions du réseau de fossés

- Destiné à s'affranchir des contraintes liées au sol et au climat



Tournebize *et al.*, 2015

- Fonctions du réseau de fossés (d'après Dollinger *et al.*, 2014) :

FONCTIONS TRADITIONNELLES

« Assainissement »

Drainage

Antiérosives

FONCTIONS RECEMMENT IDENTIFIEES

Modulation des pollutions

Transport solide

Conservation de la biodiversité

- Nécessité de bien comprendre leur impact environnemental afin d'améliorer leur gestion

Rôles et fonctions du réseau de fossés

● **Drainage agricole à vocation à évacuer l'excès d'eau de décembre à avril** (Tournebize *et al.*, 2020)

● **3 phases sur la période d'écoulement** (Tournebize *et al.*, 2020) :

- **Amorce du drainage** (septembre à novembre) : précipitations de plus en plus régulières et EvapoTranspiration Potentielle (ETP) diminue (coeff de restitution de l'eau de pluie aux drains 6 à 20%)

- **Drainage intense** (décembre à février/mars) : précipitations régulières et ETP très faible, réserve en eau des sols totalement reconstituée (coeff de restitution de l'eau de pluie aux drains : 60 à 90%)

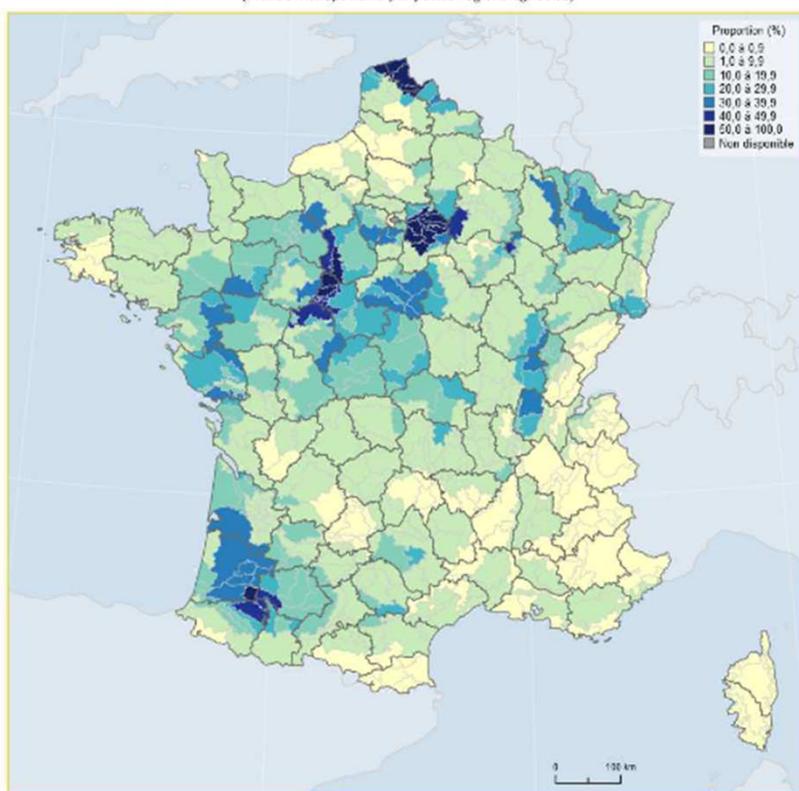
- **Fin de drainage** (avril à août) : précipitations de plus en plus sporadiques et ETP augmente dans la saison, réserve en eau des sols tend à diminuer en raison de la reprise des prélèvements par la végétation, drainage diminue pour devenir nul en été (coeff de restitution : 5 à 20%)



L'importance du réseau hydraulique annexe

- **2.9 millions d'ha drainés artificiellement, soit 9% de la SAU** (Tournebize, 2017), 83% par tuyaux enterrés, 11% par fossés, 6% ponctuel (CEMAGREF)

Proportion de la surface agricole utile drainée en 2010
(France métropolitaine par petites régions agricoles)



IRSTEA - NEAV - 2013

Source des données : Agreste - Recensement agricole 2010



© LE BIHAN, 2009

- **Densité de réseaux de fossés très variables à l'échelle nationale** : de 25 à 375 m/ha (Domange, 2001 ; Lagacherie *et al.*, 2006 ; Levavasseur, 2012 ; In Dollinger *et al.*, 2014).

Les impacts du réseau hydraulique annexe sur les milieux aquatiques et la qualité des eaux



La destruction de zones humides par drainage

- Depuis 1950, disparition de 50 % des zones humides (CEE, 1995)
- Destruction par drainage, remblaiement, imperméabilisation ou mise en eau.



ZHP occupées par :	Bretagne	Côtes d'Armor	Finistère	Ille-et-Vilaine	Morbihan
• Urbanisation	6,4 %	5,9 %	6,6 %	7,1 %	5,6 %
• Infrastructures de transports	2,3 %	2,0 %	2,4 %	2,5 %	2,3 %
• Cultures dont prairies temporaires (PT)	33,6 % (dont 6,9 PT)	35,2 % (dont 6.6 % PT)	23,5 % (dont 5,2 % PT)	42,8 % (dont 8,4 % PT)	28,2 % (dont 6,7 % PT)
• Plans d'eau	1,9 %	1,3 %	1,3 %	2,7 %	2,1 %
• Boisement de résineux et peupliers	4,0 %	4,5 %	2,6 %	2,7 %	6,2 %
CUMUL	47% (264 454 ha)	48 % (65 668 ha)	35 % (39 492 ha)	56 % (99 816 ha)	43 % (59 479 ha)

Tableau 10 - Surfaces et pourcentages totaux, par département, de zones humides potentielles occupées par des aménagements et des usages considérés dans cette étude et pouvant altérer leurs fonctions

Dausse *et al.*, 2020

Impacts environnementaux sur le réseau de cours d'eau

 Dans certains bassins versants de l'Est de l'Illinois (Etats-Unis), l'intérêt d'un drainage performant a mené à chenaliser tous les cours d'eau de rang 1 (Mattingly *et al.*, 1993*, in Landwehr & Rhoads, 2003*)

- ✓ Création de réseau de fossés (réseau hydraulique annexe)
- ✓ Approfondissement, élargissement, rectification du réseau de cours d'eau existant (Smiley *et al.*, 2007*) pour :
 - o Augmenter l'effet drainant du cours d'eau
 - o Encaisser l'arrivée d'un réseau de drainage (superficiel ou souterrain)

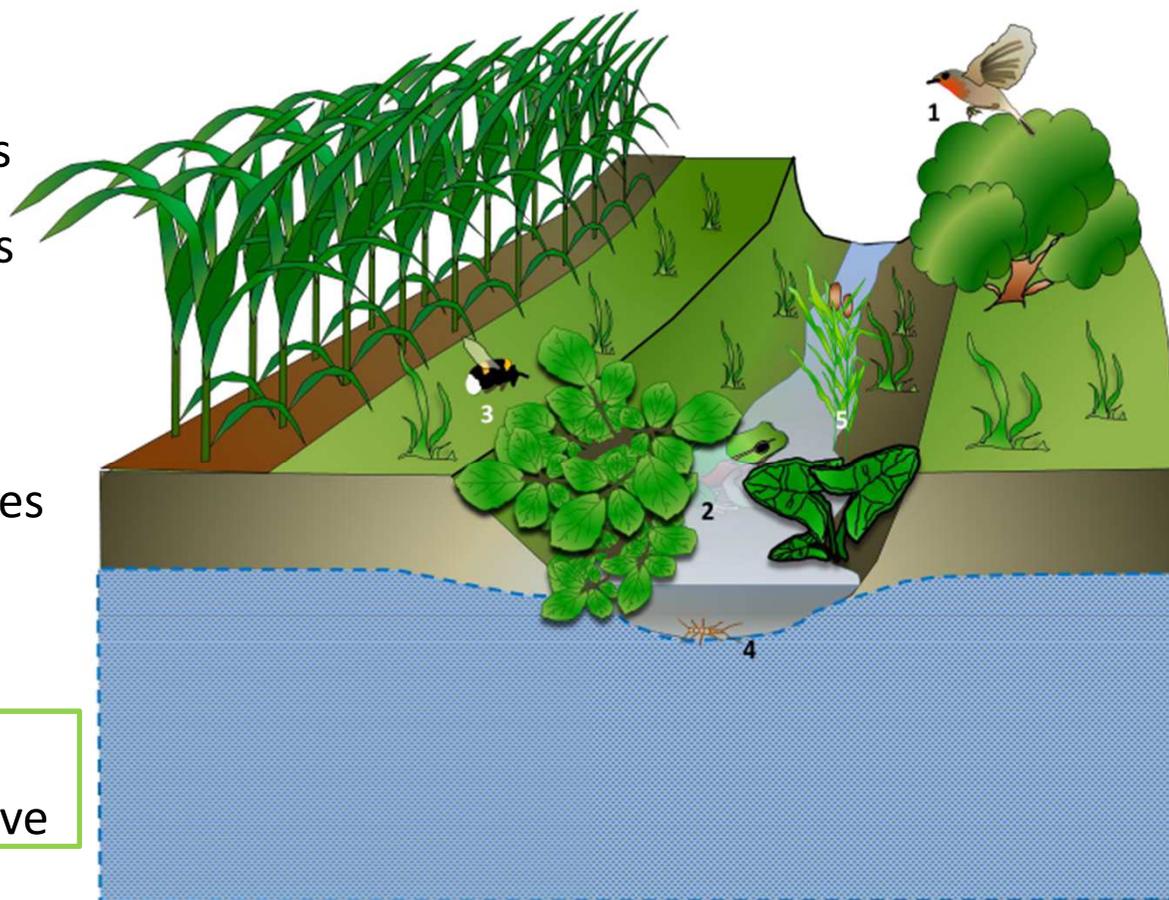
 De plus, les modifications réalisées nécessitent d'être maintenues afin de conserver l'efficacité du drainage (Landwehr & Rhoads, 2003*)



Fonctionnalités biologiques des fossés

● Synthèse des processus écologiques identifiés au sein des fossés (Dollinger *et al.*, 2014) :

- ✓ Habitats pour les oiseaux
- ✓ Lieu de reproduction des amphibiens
- ✓ Micro-habitats pour les pollinisateurs
- ✓ Micro-habitats pour les macro-invertébrés benthiques
- ✓ Développement de plantes aquatiques ou de zones humides



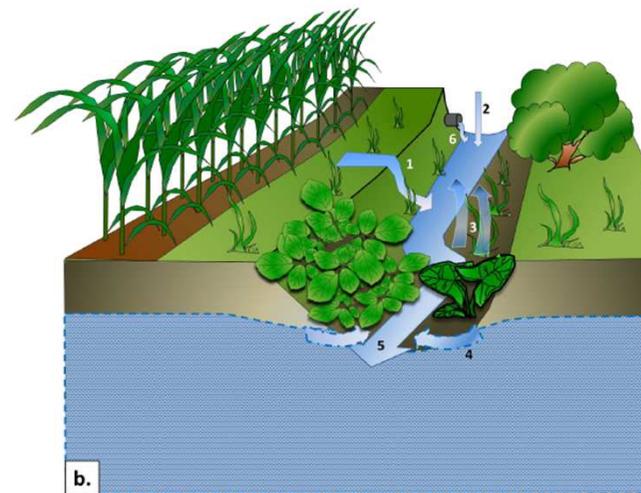
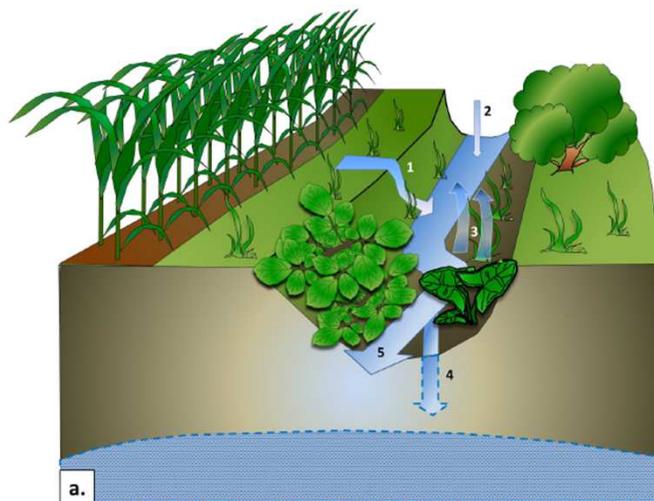
En fonction de l'état du fossé, de son entretien et de la présence d'une ripisylve

Amphibiens peu abondants dans les paysages agricoles intensifs, fossés permettent leur maintien (Dollinger *et al.*, 2014)

Fonctions des fossés sur l'hydrologie

● Incidence majeure sur l'hydrologie des petits bassins versants :

- **Exfiltration ou infiltration** (Infiltration notamment en contexte aride ou semi-aride) (in Dollinger *et al.*, 2014)
- **Baisse du niveau de la nappe**
- **Augmentation ou diminution des débits de pointe selon les cas** (Blann *et al.*, 2009, Carluet & Marsily, 2004, Loumagne & Tallec, 2013)
- **Fossés perpendiculaires à la pente du versant les plus « efficaces » pour capter le ruissellement** (Carluet & Marsily, 2004 ; in Dollinger *et al.*, 2014)



Apports en pesticides et nutriments

● **Les apports de contaminants, pesticides ou nutriments dans les fossés sont étroitement liés aux flux hydriques et sédimentaires** (Kao *et al.*, 2002, Tang *et al.*, 2012 ; in Dollinger *et al.*, 2014).

● **Les apports s'effectuent par apports :**

- Directs
- Indirectes (par lixiviation au niveau des parcelles puis drainage des nappes)
- Par dérive pour les pesticides (Levavasseur, 2012 ; Tang *et al.*, 2012 ; in Dollinger *et al.*, 2014).

● **L'influence du drainage sur les transferts de solutés est variable :**

- Le nitrate (très soluble), est davantage entraîné par l'eau de drainage que les solutés fortement liés au complexe argilo-humique (phosphore, produits phytopharmaceutiques), préférentiellement entraînés par l'eau de ruissellement.
- L'importance des transferts reste toutefois largement influencée par l'hydrologie locale, donc par la pluviosité de l'année (Cahier colloque, Dutertre, page 20/40).



Apports en nitrates des eaux de drainage

- Exportation aux exutoires d'environ 35 kg/ha/an d'azote sous forme de nitrates, soit 20% de la fertilisation moyenne apportée sur les parcelles (Tournebize *et al.*, 2020)
- Concentration moyenne annuelle en nitrates des eaux de drainage oscille entre 10 et 90 mg/L NO₃⁻ selon l'intensification des pratiques agricoles
- Concentrations en nitrates en sortie de bassin versant drainé :

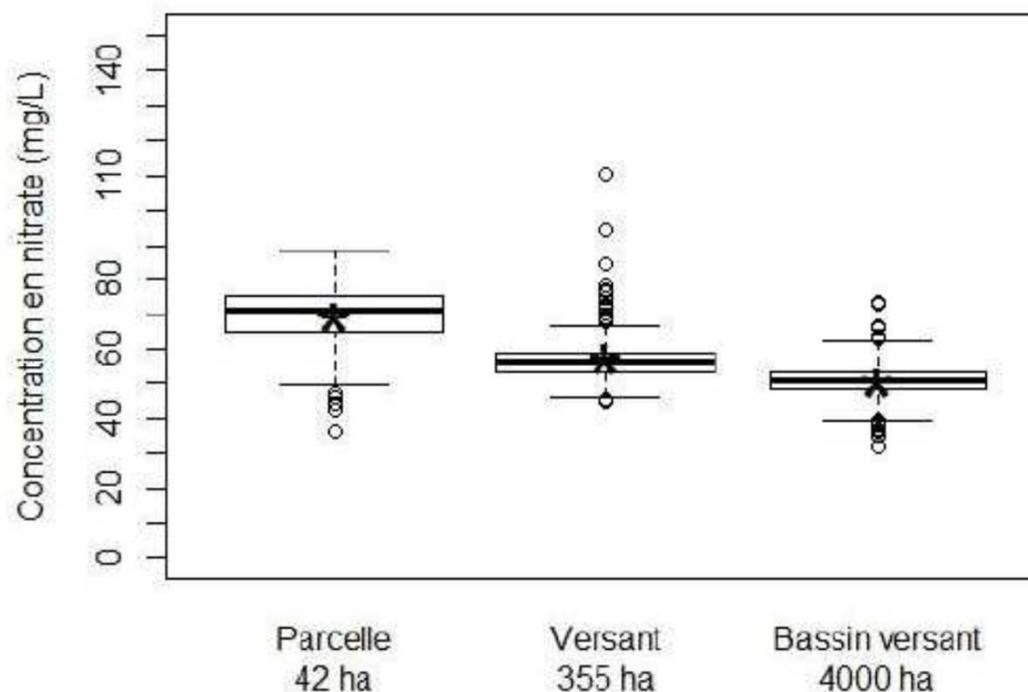


Figure 5 : Gamme des concentrations en nitrate en sortie de versant drainé selon leur surface croissante (de 42 à 4000 ha) (données Irstea).

Apports en pesticides des eaux de drainage

- Exportation aux exutoires d'environ 1,5 g/ha/an de pesticides, environ 0,1 % de la dose appliquée en contexte de grandes cultures (Tournebize *et al.*, 2020)
- Pesticides (nocifs à très faibles doses) sont de l'ordre de quelques grammes de matière active par hectare et par an
- Concentrations en pesticides en sortie de bassin versant drainé

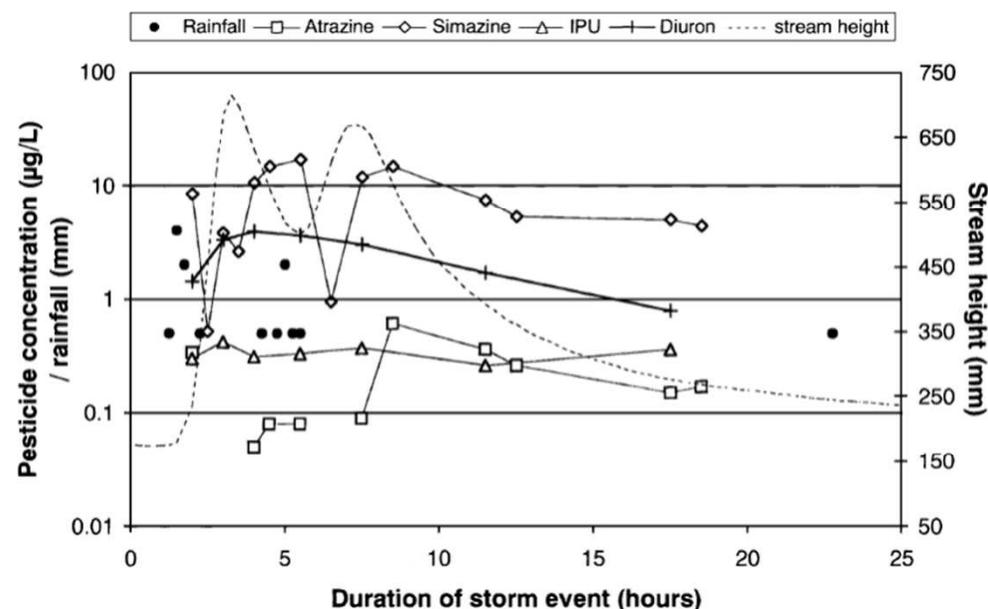
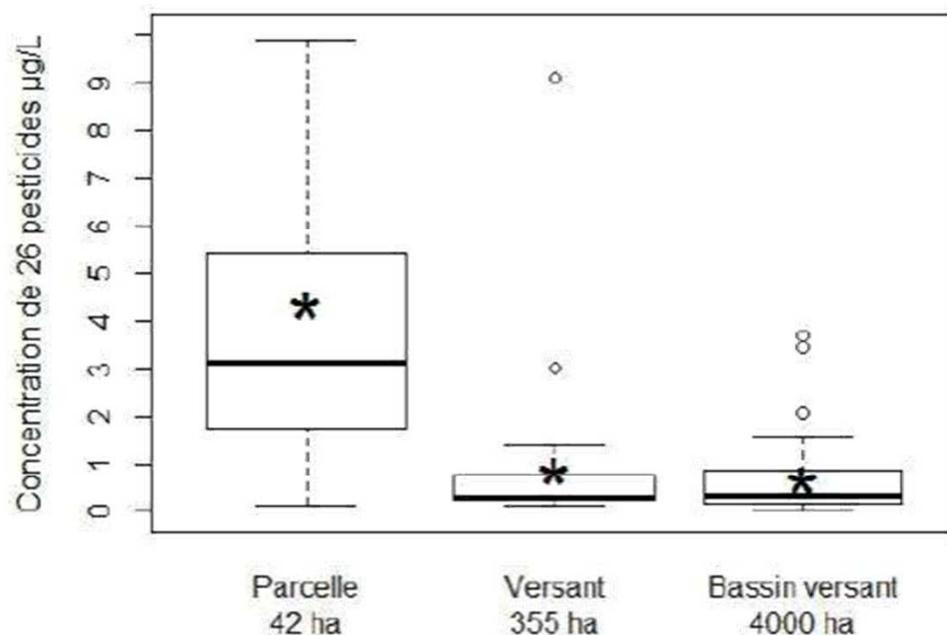
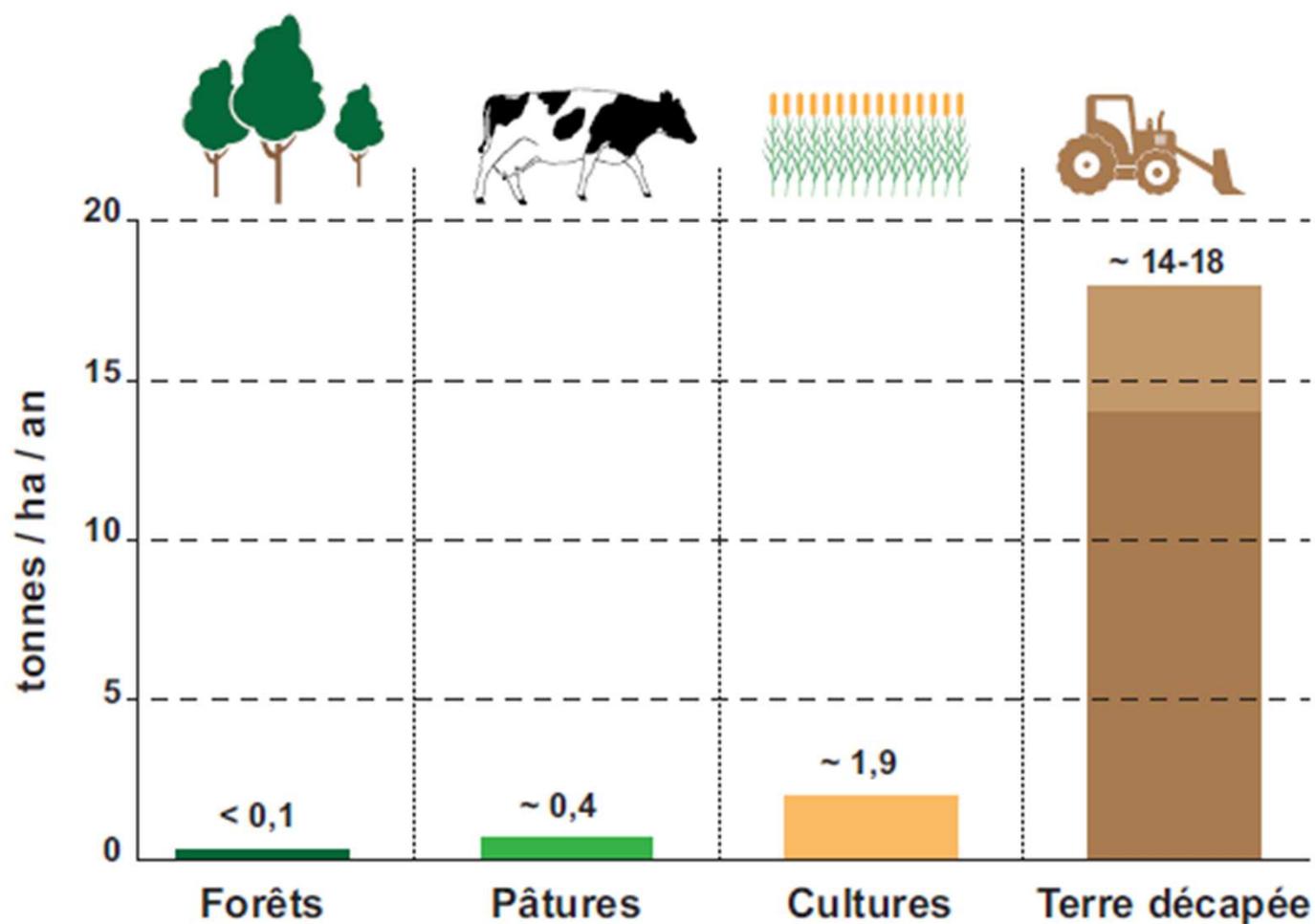


Figure 4 : Gamme des concentrations en pesticides en sortie de versant drainé selon leur surface croissante (de 42 à 4000 ha) (données irstea).

Apports en Matières En Suspension (MES)



© Biotope pour AFB

Causes des apports au sein des fossés :

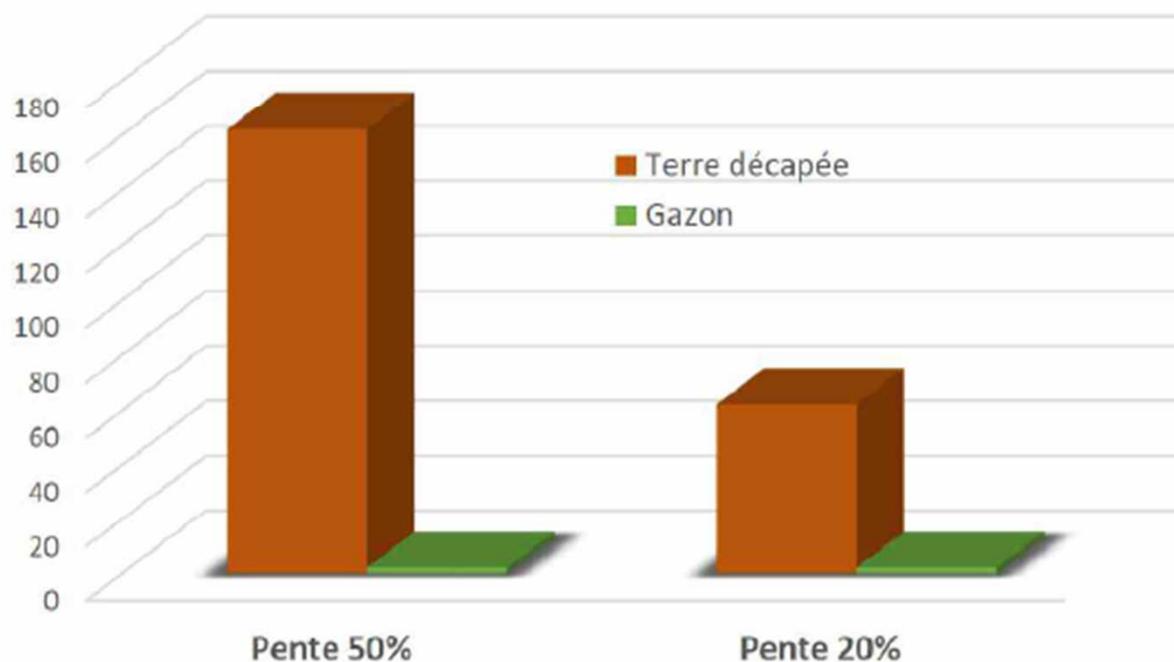
- Érosion hydraulique sur la parcelle en amont du fossé,
 - Érosion des parois et incision du fossé
- (Dollinger *et al.*, 2014)

Figure 8. Taux moyen d'érosion des sols selon l'occupation des sols.

Source : Tetra Tech.

Des apports conséquents en Matières En Suspension (MES)

Erosion en tonnes/ha/an
pente de 15m, sol limoneux, climat tempéré



© Biotope pour AFB

**Importance de la
pente des fossés**

Doubler la vitesse de l'eau augmente :

■ de 4 fois la puissance érosive ;

■ de 32 fois la masse de sédiments transportés ;

■ de 64 fois la taille des particules transportées (Craul, 1999).

Figure 7. Taux moyen d'érosion des sols selon la pente et la nature des surfaces concernées. Tests réalisés sur des surfaces pentues de 15 m de long, des sols limoneux et sous un climat tempéré. Source : McCaleb et al. (2008).

Les impacts des MES sur les cours d'eau

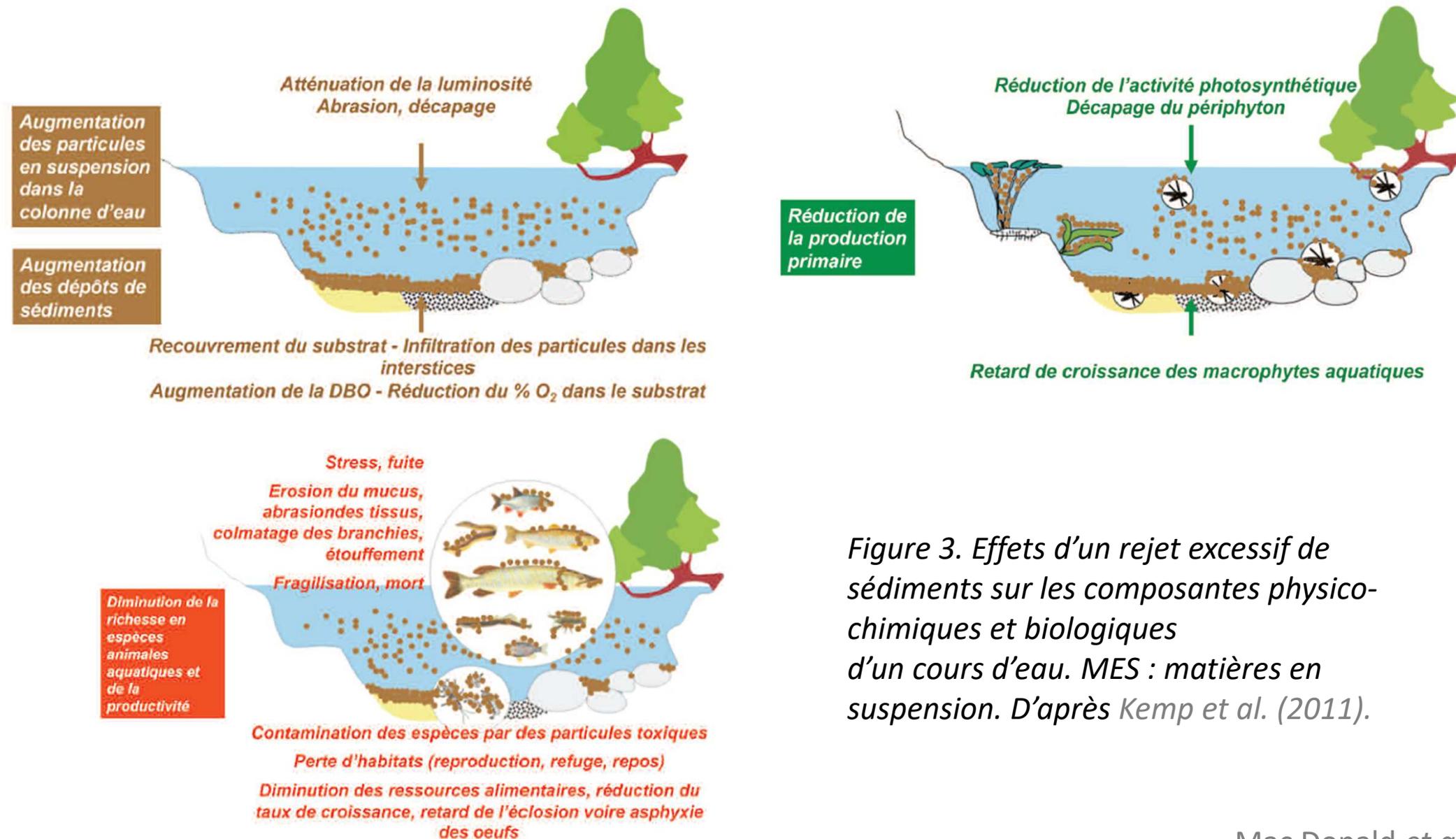
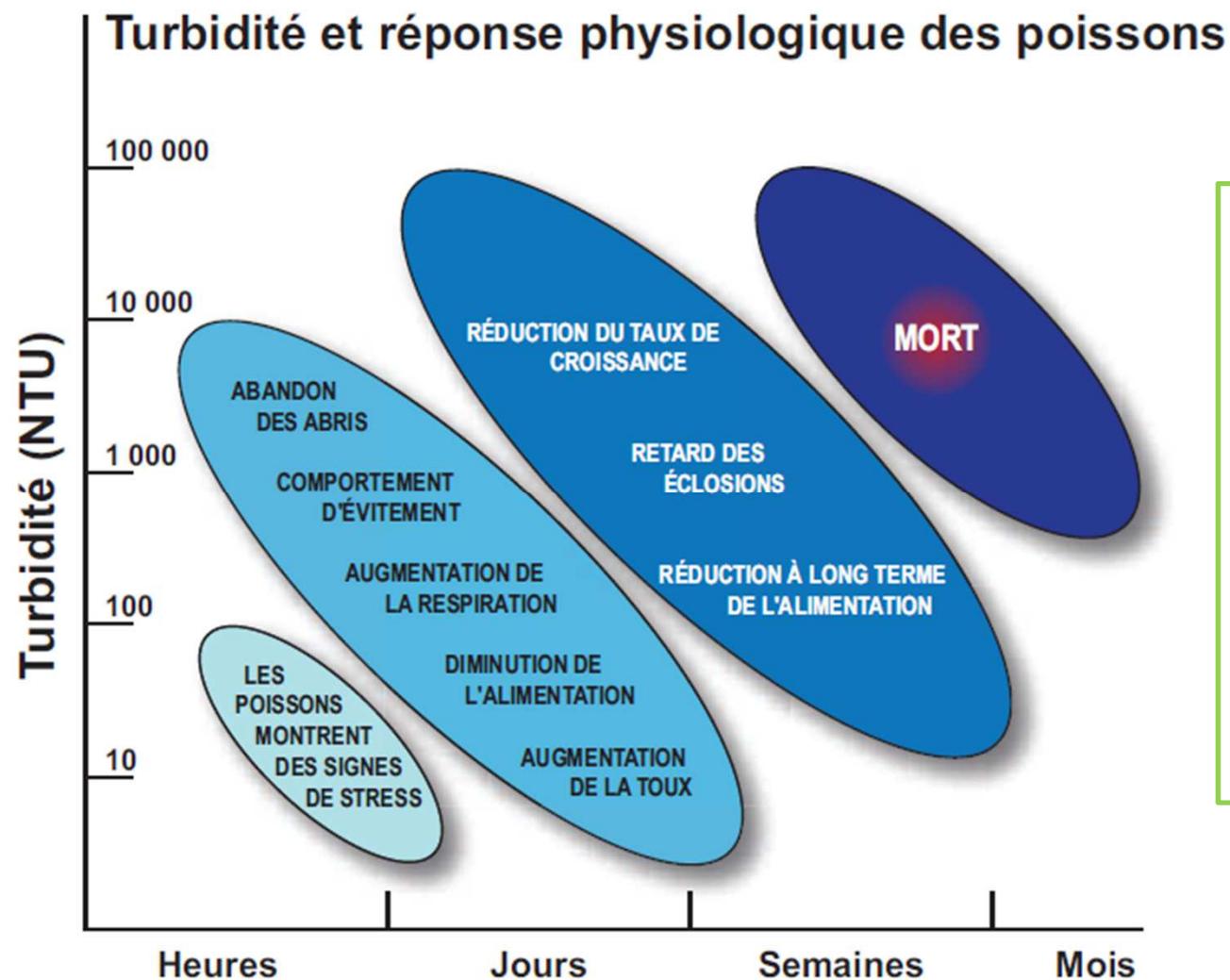


Figure 3. Effets d'un rejet excessif de sédiments sur les composantes physico-chimiques et biologiques d'un cours d'eau. MES : matières en suspension. D'après Kemp et al. (2011).

Les impacts des MES sur les cours d'eau



Effets de la turbidité sur les poissons (effets observés en moyenne sur plusieurs espèces). La vulnérabilité des poissons face à une pollution varie d'une espèce à l'autre (truite fario, carpe, alose, anguille, etc.) et en fonction du stade de développement des individus au sein d'une espèce donnée (oeuf, alevin, adulte). Source : Lloyd (1987) et Lloyd et al. (1987) in Alaska water quality standards.

Comment limiter les impacts de ce réseau hydraulique annexe ?



Comment limiter l'impact du réseau hydraulique annexe ?

Mesures pour réduire l'impact du réseau hydraulique annexe

Modalités d'entretien

Déconnexion

Suppression



Éléments de diagnostic



La pré-localisation des fossés sous SIG

● La photo-interprétation d'images aériennes à 50 cm de résolution spatiale ne permet d'identifier en moyenne que 55% du réseau dans le cas de paysage avec relief, haies, et petits fossés végétalisés (1 m de large en moyenne) (Aulanier & Adoir, 2012, Bailly *et al.*, 2010 ; in Dollinger *et al.*, 2014)

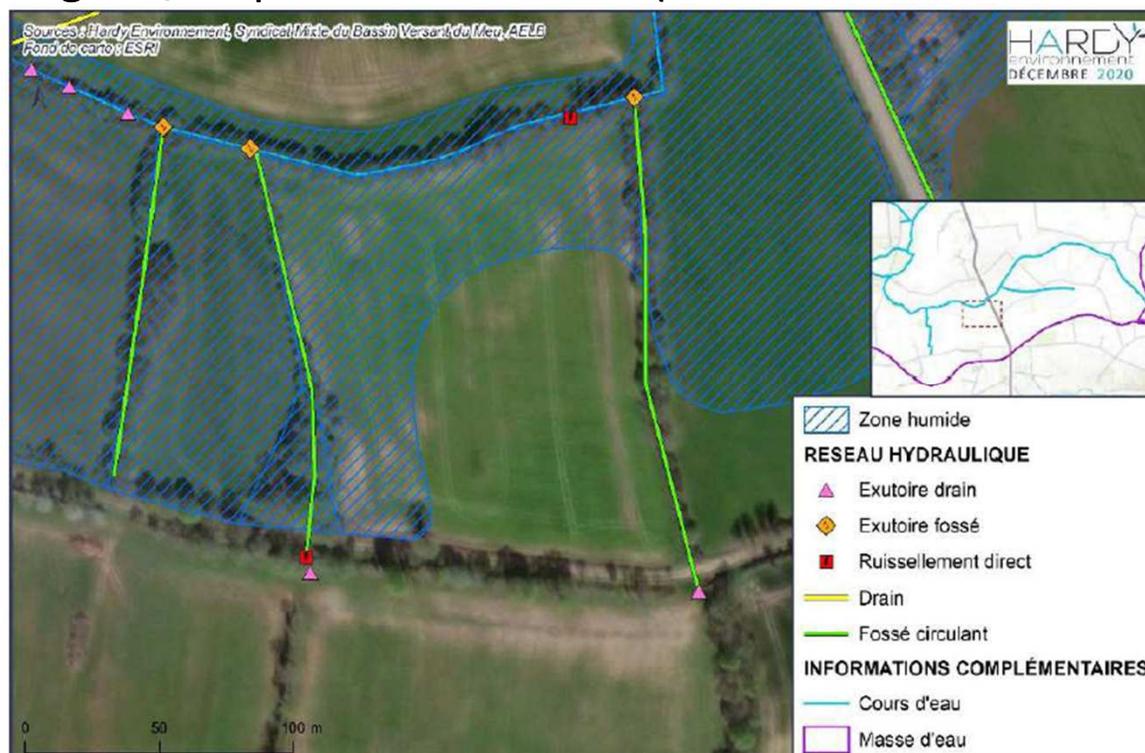


Nécessité d'une phase de diagnostic terrain

La pré-localisation des fossés sous SIG et sur le terrain

● Synthèse des bases de données existantes :

- Base de données « infrastructures routières » du conseil départemental
- Base de données communale
- Etude locale (ex : syndicat mixte)
- Plan de drainage et/ou parcelles drainées (données difficilement accessibles)



Phase terrain
essentielle

Identification sur le terrain des points de contacts avec le RHA

● Réseau hydraulique annexe (drains, fossés) :

- Les coordonnées GPS précisant la rive
- **Le type de RHA** (buse, drain, exutoire de plan d'eau, fosse, ruissellement direct, talweg,)
- **Le type de connexion** (directe ou indirecte)
-> si indirecte, préciser la modalité de déconnexion (fosse aveugle, mare, zone humide...)
- **La hauteur de l'exutoire par rapport a la ligne d'eau du cours d'eau**
- **La présence d'une pollution ponctuelle** (hydrocarbures, matière organique, phytosanitaires, autres...)
- **L'impact biologique a l'aval de la connexion** (développement algal, queue de moutons, végétation traitée, tubifex...)
- **L'impact morphologique a l'aval** (colmatage, érosion, incision, incision et érosion)
- **L'impact thermique a l'aval de la connexion** (oui/non ; ex : rejet des plans d'eau)
- **2 éléments descriptifs de la rugosité des fossés** (quantité d'obstacles : négligeable, faible, sensible, très marquée / quantité de végétation dans le lit : négligeable, faible, moyenne, importante, très importante)
- Observations (ex : entretien récent)

Recensement non exhaustif des sorties de drains



Note technique

Méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire

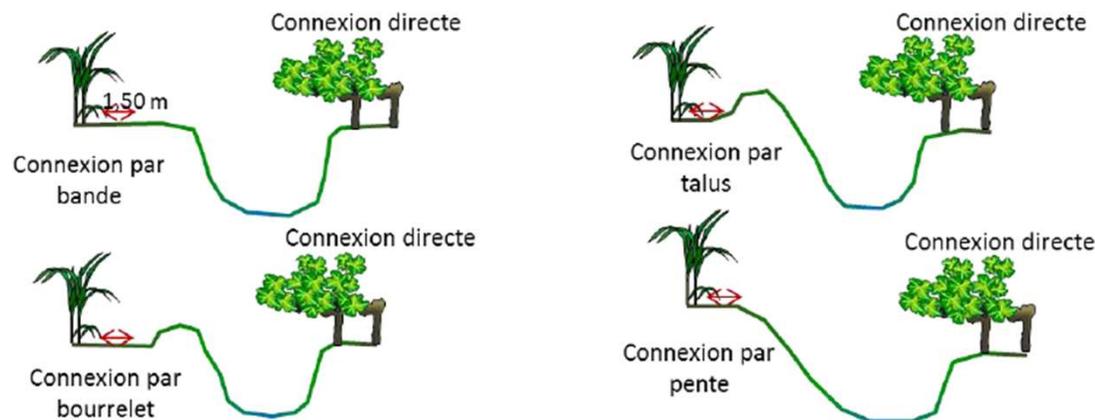
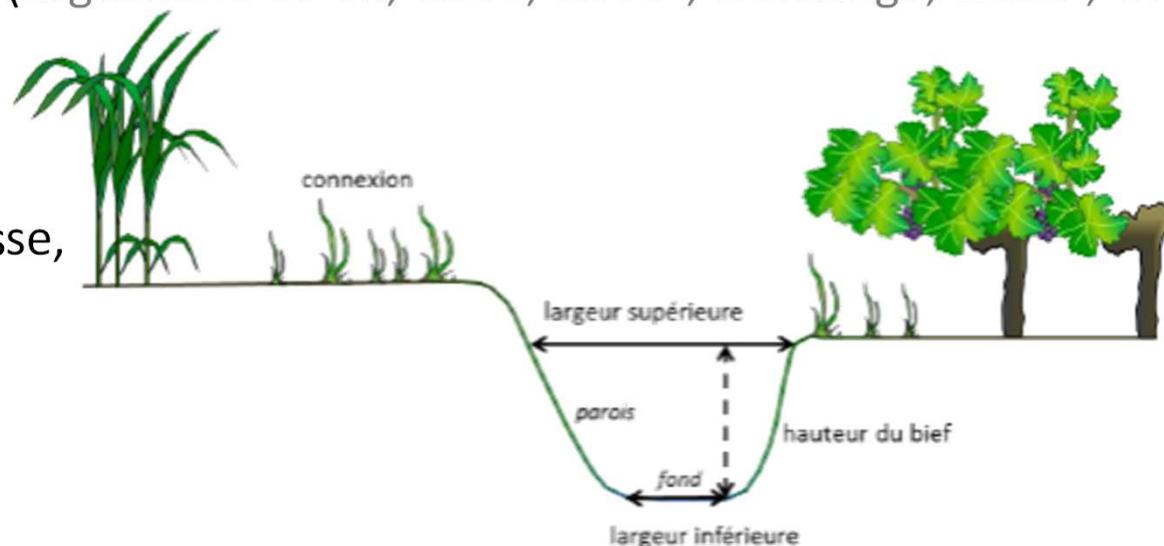


MARS 2020

Les principaux paramètres descriptifs d'un fossé

● **Description de la géométrie d'un fossé** (Lagacherie *et al.*, 2002, 2006 ; Domange, 2001 ; in Dollinger *et al.*, 2014) :

- Largeur inférieure et supérieure,
- Hauteur par rapport à la berge la plus basse,
- Longueur,
- Pente,
- Nature du fond,
- Couverture végétale,
- Connexion avec la parcelle voisine.

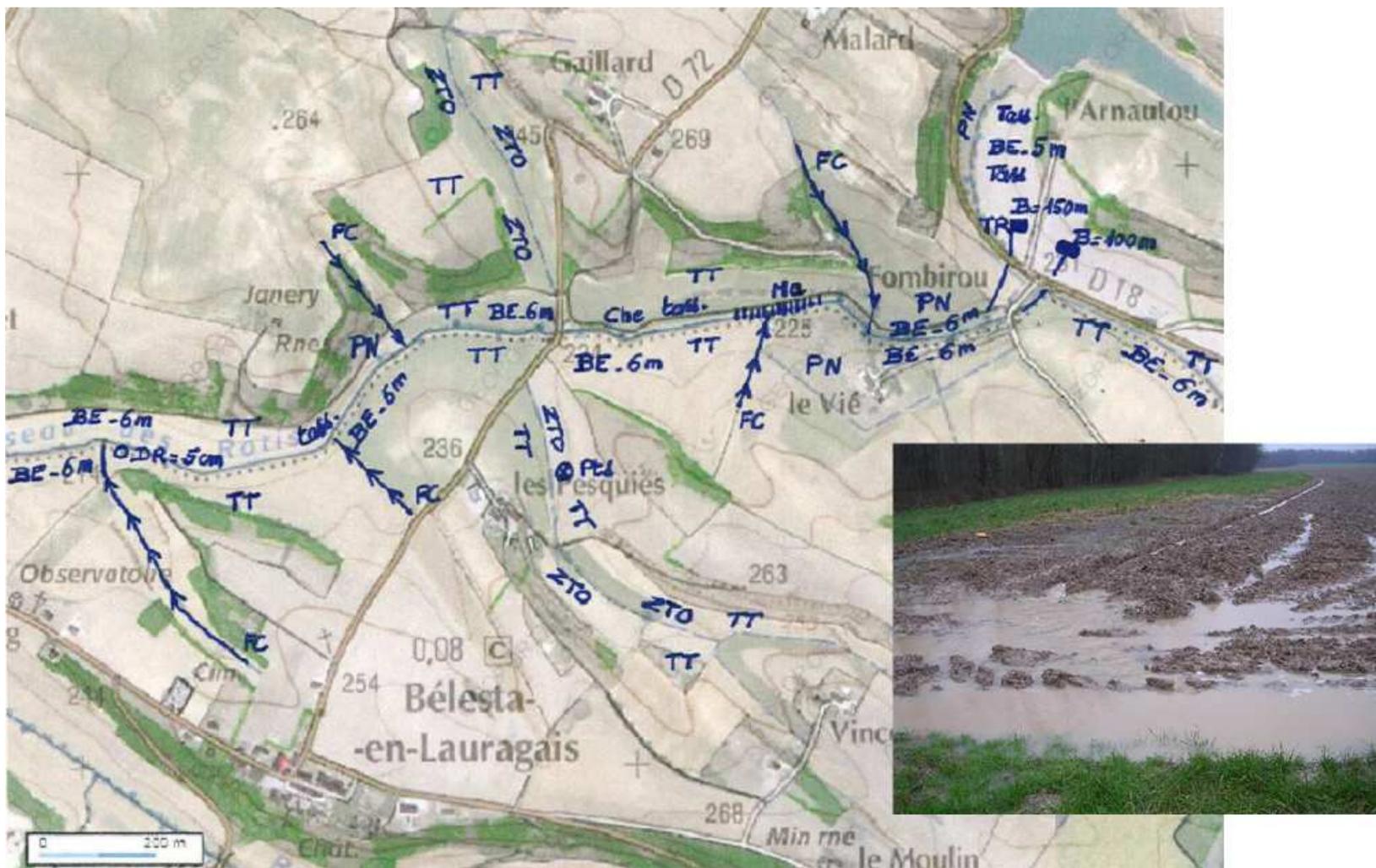


Connexion par bande, bourrelet, talus

● **Paramètres complémentaires sur :**

[https://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/Fosses et cours d'eau/delimitation fosses.asp](https://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/Fosses_et_cours_d_eau/delimitation_fosses.asp)

Diagnostic des zones tampons rivulaires



<http://zonestampons.onema.fr/comment-mettre-en-place-une-zone-tampon/diagnostics-et-etudes-prealables/diagnostic-des-zones-tampons-rivulaires-existantes>

Les éléments de diagnostic pour envisager une déconnexion voire une suppression

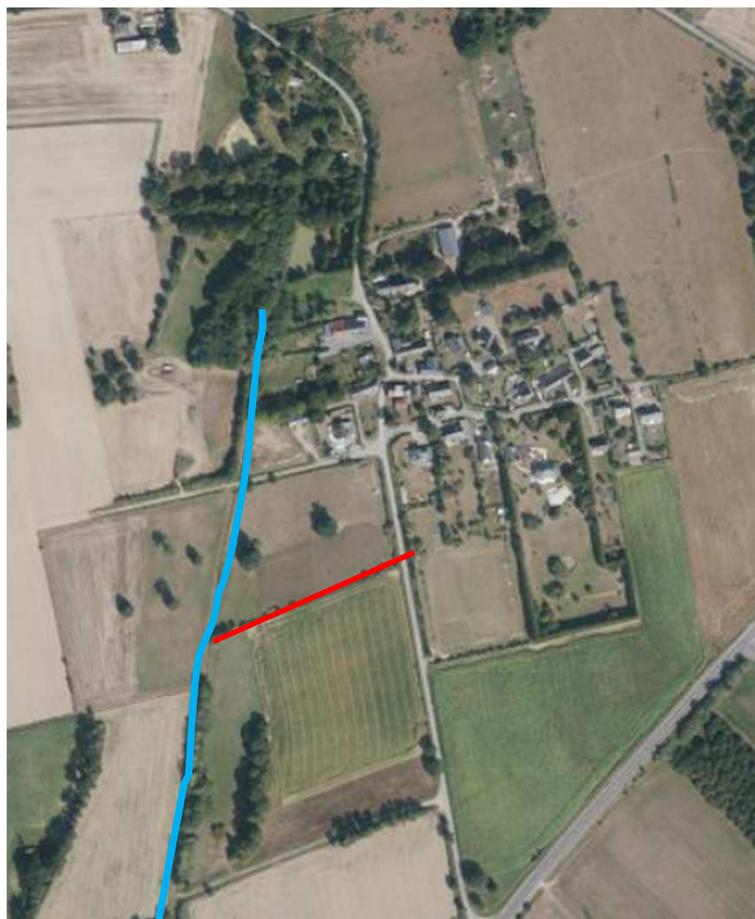
Statut cours d'eau / fossé / ZH

Source / cours d'eau enterrés
Propriétaires
Emprise foncière

Surface du BV amont
Surface drainée (carte drainage)
Hydrologie
Fonctionnalité du RHA

Réseau de fossés
Réseau de drains
Point de contact unique ou multiple

Topographie de la parcelle
(pente latérale, longitudinale)
Profondeur du drainage au sein
de la parcelle
Structure du drainage



Enjeux qualité d'eau (nitrates, pesticides, MES, ...) avec analyses d'eau

Profil en long CE-RHA
Lpb et Hpb du cours d'eau
Heau exutoire RHA
Description de la connexion
(angle, faciès d'écoulement, ...)
Cote du cours d'eau restauré

Modalités d'entretien
du réseau de fossés
Enherbement
Présence de redant

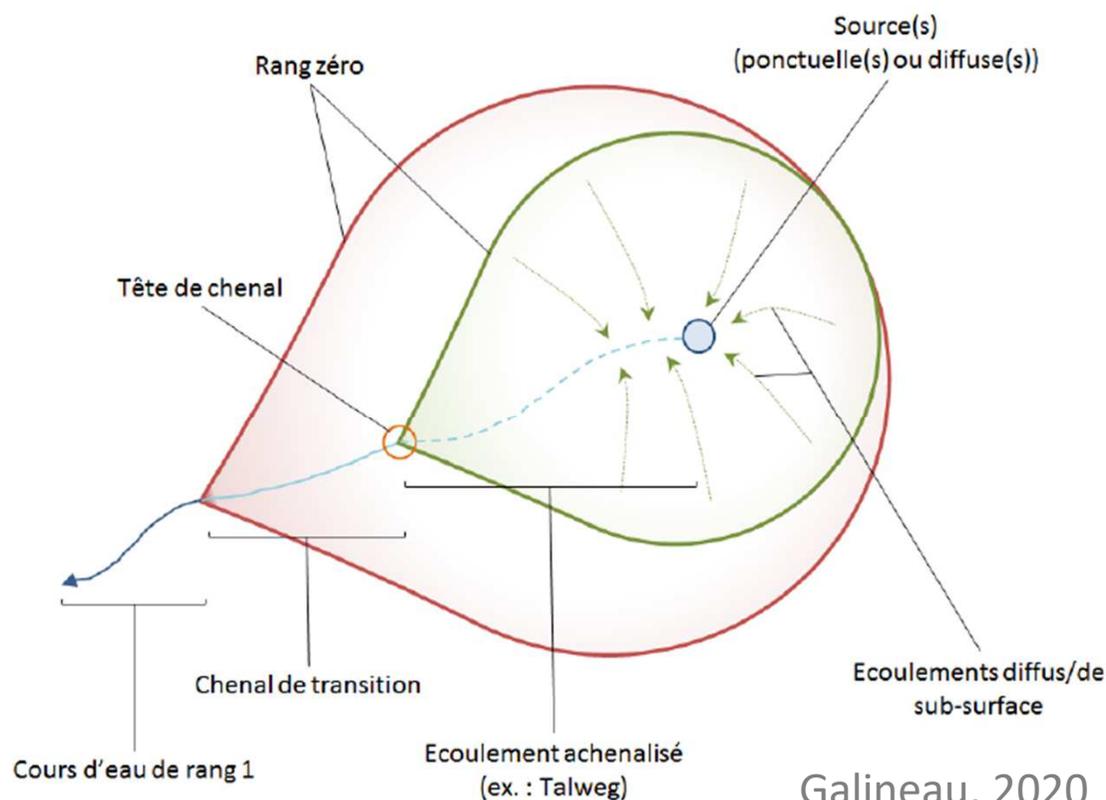
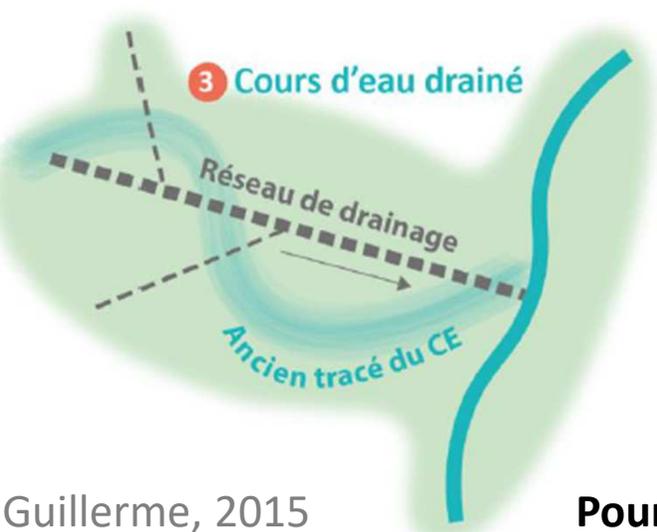
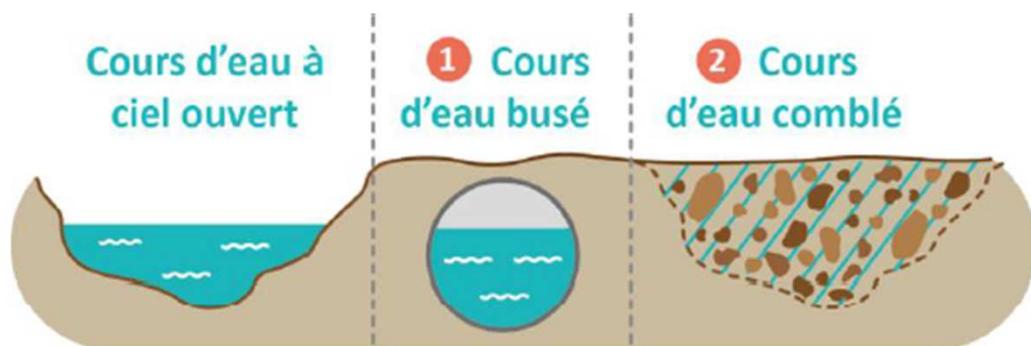
Pédologie

Perméabilité des sols de 0 à 1 m
Profondeur de la nappe
Erodabilité des sols



La prise en compte des cours d'eau et zones de source enterrés

- **Nécessité d'agir le plus en amont possible, dès la genèse des écoulements.**
- **L'enterrement des cours d'eau** : une des perturbations les plus dommageables sur l'hydromorphologie des cours d'eau (Le Bihan, 2009) et la rétention des nutriments (Oraison *et al.*, 2011).



Galineau, 2020

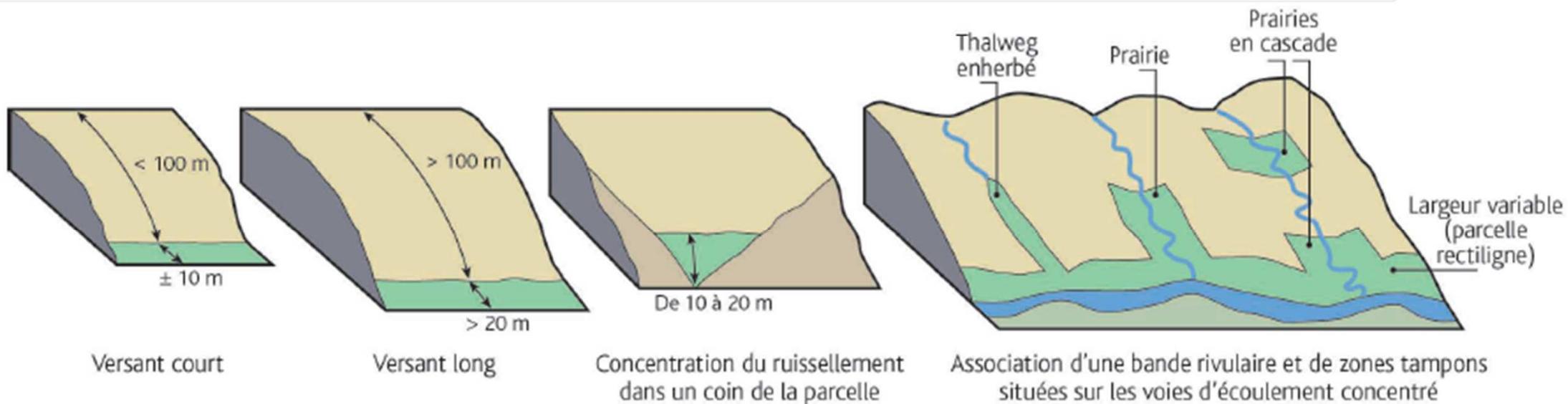
Exemple d'outils complémentaires sur la mise en œuvre de zones tampons

● L'outil « Buvard » :

- Application web interactive permettant de déterminer les dimensions d'une bande tampon végétalisée pour limiter les transferts de produits phytosanitaires par ruissellement entre une zone agricole et les milieux aquatiques (cours d'eau, plans d'eau mais aussi zones d'infiltration préférentielle).



Bienvenue dans l'outil en ligne pour le dimensionnement des bandes tampons végétalisées destinée à limiter les transferts de produits phytosanitaires par ruissellement



Quelques recommandations sur l'entretien des fossés



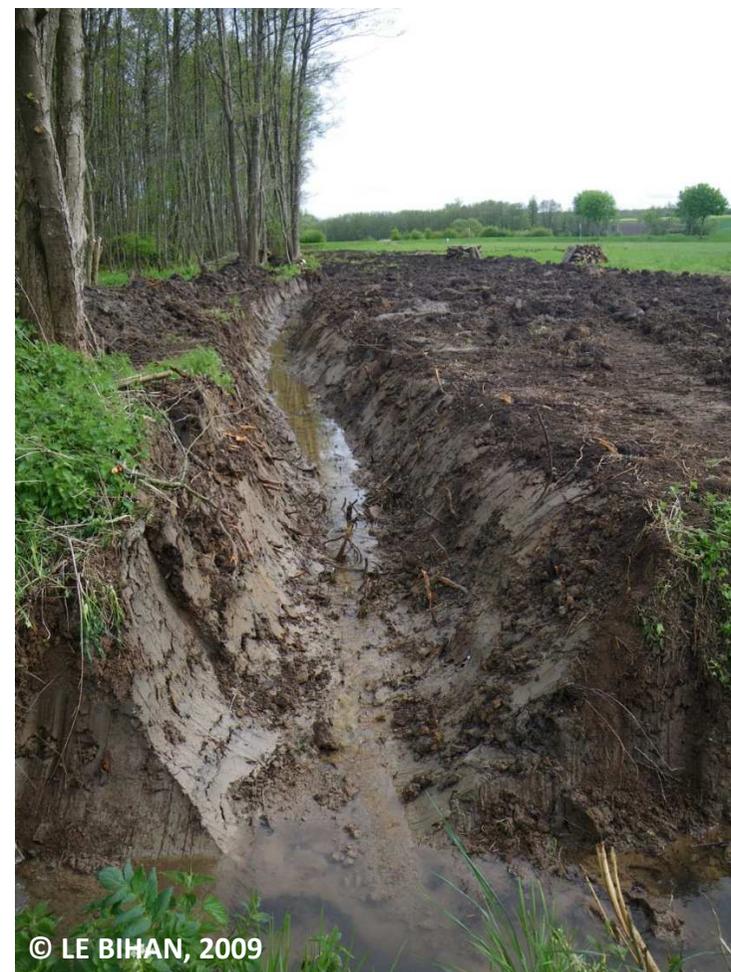
Les impacts des techniques d'entretien

- Impact négatif du curage sur les fonctions écologiques et la contamination des masses d'eau.
- Détérioration de la capacité de rétention de sédiments.
- Processus biogéochimiques à l'origine de l'atténuation des pesticides dans les fossés sont étroitement liés aux propriétés des fossés (Margoum *et al.*, 2006).

-> Or les propriétés des fossés sont a priori modulées de manière contrastée par les différentes opérations d'entretien (Levavasseur *et al.*, 2014; Needelman *et al.*, 2007; Pappas & Smith, 2007).

● Ainsi, les principales opérations d'entretien (exemples: fauche, curage, ...), de par leurs actions contrastées sur les propriétés des fossés, sont susceptibles d'améliorer ou détériorer le pouvoir tampon des fossés (In Dollinger, 2017).

L'entretien a été traditionnellement réalisé en vue d'optimiser les fonctions d'usage. Il convient désormais de concilier ces fonctions au vu des impacts positifs ou négatifs sur l'environnement que l'entretien des fossés peut créer (Dollinger *et al.*, 2014).



Le rôle de la végétalisation des fossés

- La rugosité végétale a toujours pour effet d'augmenter le temps de résidence hydraulique (Host *et al.*, 2012 ; Kroger *et al.*, 2009 ; Rhoads & Massey, 2012 ; In Dollinger *et al.*, 2014)
- 28% des particules en suspension sont retrouvées en aval d'un fossé végétalisé contre 95% pour un fossé non végétalisé (Moore *et al.*, 2010).

Type de zone tampon préconisé	Plan d'eau végétalisé de type zone tampon humide artificielle (ZTHA)	Fossé végétalisé et/ou à revents
Positionnement	Pour optimiser la fonction d'épuration : en dérivation des fossés collecteurs, de préférence au plus près des parcelles émettrices et associé à un mode de gestion hydraulique approprié pour recueillir les flux les plus concentrés dans un minimum de volume On signalera que d'autres modes d'implantation, sur l'emprise de la bande tampon rivulaire, ont également été expérimentés dans le cas de petits exutoires de drainages arrivant directement au cours d'eau	Aménagement des fossés existants
Mode d'action	Rétention et dégradation	Rétention et dégradation
Ordre de grandeur d'efficacité	Abattement des concentrations de l'ordre de 80 à 90 % mais variable (de 40 à 100 %) selon la substance et le type de dispositif [d'après les résultats expérimentaux des projet Artwet et Phytoret, voir l'annexe VI pour plus de détails]	Abattement des pics de concentrations de l'ordre de 50 % pour des vitesses d'écoulement inférieures à 0,1 m/s [d'après les résultats expérimentaux du projet Artwet]
Suggestion de référence(s)	Artwet (2010a et 2010b), Destandeu <i>et al.</i> (2013), Phytoret (2014), Toumabize <i>et al.</i> (2015), Maillard <i>et al.</i> (2011, 2012, 2016), Maillard et Imfeld (2014), Babcsányi <i>et al.</i> (2014), Stähle <i>et al.</i> (2011), Imfeld <i>et al.</i> (2013), Regazzoni <i>et al.</i> (2010, 2011, 2013a et 2013b) Vallée <i>et al.</i> (2015a et 2015b) pour les dispositifs implantés sur l'emprise des bandes tampons rivulaires	Kao <i>et al.</i> (2002), Margoum <i>et al.</i> (2003), Artwet (2010a et 2010b), Dollinger <i>et al.</i> (2015), Dages <i>et al.</i> (à paraître en 2017)
Quelques précisions utiles	Dans une configuration en dérivation, la gestion hydraulique du bassin consistera à ouvrir une vanne d'alimentation lors des premières pluies succédant une application de manière à ne collecter que les eaux les plus chargées en pesticides. L'objectif est alors de pouvoir maximiser le temps de séjour (durée de 1 mois recommandée) en ne stockant qu'un volume d'eau limité Ce mode de gestion demande donc une implication des agriculteurs concernés. Les règles d'ouverture/femture doivent être acceptées par les acteurs	L'aménagement des fossés sera surtout recommandé dans les territoires où leur densité ne permet pas d'envisager une protection rapprochée et généralisée au moyen de bandes végétalisées

Abattement des pics de concentrations de l'ordre de 50 % pour des vitesses d'écoulement inférieures à 0,1 m/s (d'après les résultats expérimentaux du projet Artwet)

Catalogne et Le Hénaff, 2016



Vers une évolution des techniques d'entretien des fossés

● Proposition de techniques alternatives aux méthodes dites « traditionnelles » :

- ✓ La méthode du tiers inférieur
- ✓ La méthode de curage en alternance
- ✓ Le curage superficiel léger
- ✓ La déconnexion de fossé
- ✓ L'arrêt du curage
- ✓ La dissociation des chantiers de curage et de dérasement

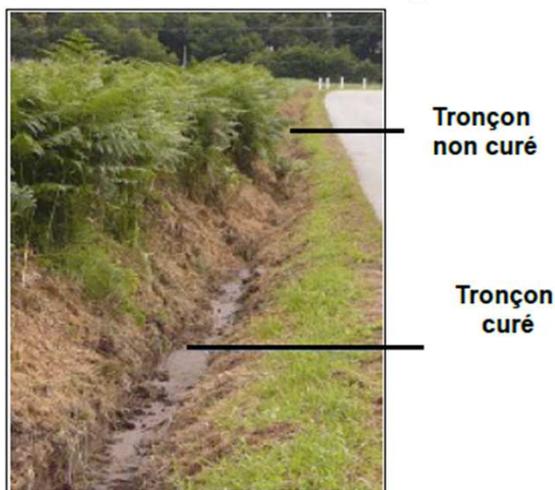


Figure 9. Curage en alternance
- RD61 - Languédias

GUIDE TECHNIQUE DÉPARTEMENTAL

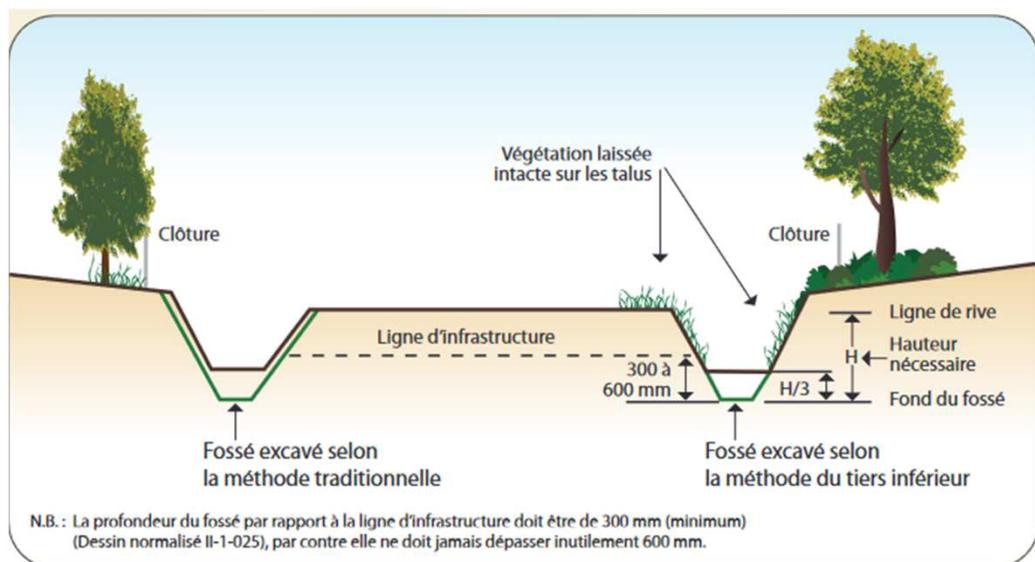
► Entretien des routes

Entretien des fossés et des bas côtés routiers

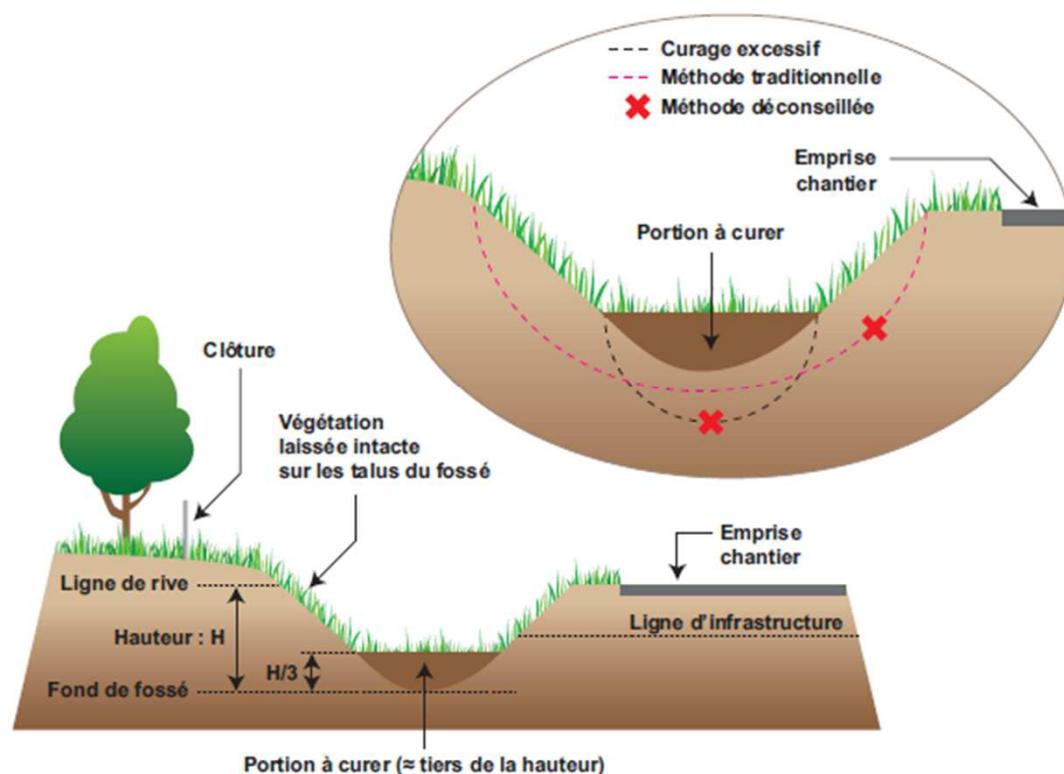


La technique du tiers inférieur

- **Description** : entretenir le fossé en curant uniquement le tiers inférieur de la profondeur totale du fossé et en préservant la végétation des talus.
- **Technique adaptée aux fossés provisoires réalisés dans le cadre de chantiers de longue durée** (plusieurs mois voire années) **ou aux fossés permanents** (des Touches & Anras, 2005 ; in Mac Donald *et al.*, 2018).



Source : MTQ, 2004



Mac Donald *et al.*, 2018

Réfléchir au choix de la période d'entretien

- Intégrer les enjeux biodiversité pour définir la période d'entretien des fossés la moins impactante

Enjeux	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	types de travaux
flore	faible	faible	faible	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	faible	faible	débroussaillage, taille, etc.
mammifères terrestres	faible	faible	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	faible	faible	débroussaillage
chiroptères	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	faible	forte	travail de nuit à proximité des routes de vols + gîtes
avifaune nicheuse	faible	faible	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	faible	faible	faible	débroussaillage + travaux de nuit
reptiles	faible	faible	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	faible	faible	débroussaillage
amphibiens	faible	faible	forte	forte	forte	forte	faible	forte	forte	forte	faible	faible	débroussaillage + travaux de nuit + vérification état des clôtures
insectes	faible	faible	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	faible	faible	débroussaillage
eaux	interdit	interdit	interdit	interdit	interdit	faible	fondations d'ouvrage d'art						
	interdit	interdit	interdit	interdit	faible	faible	faible	faible	faible	faible	faible	interdit	stockage temporaire en zone inondable sauf pistes provisoires

Tableau de phasage biodiversité.

Interdit

sensibilité forte

sensibilité moyenne

sensibilité faible

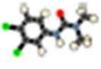
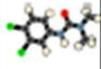
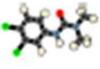
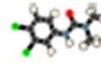
Chauvigné & Lemoine, 2019

En évitant les périodes pluvieuses présentant un risque élevé d'inondation et d'effet érosif (Mac Donald *et al.*, 2018)

Réfléchir au choix de la période d'entretien

● Influence des modalités d'entretien par curage et fauchage

Table 1: The influence of ditch maintenance strategies on their hydraulic capacity, herbicide retention and ecological functions

	April	May	June	July	August	September	October	November	December	January	February	March	April	
Key periods during which the hydraulic capacity, herbicide retention and ecological functions should be optimized	 	 												 
Dredging strategy	+	+	+	+									●	●
Mowing strategy			+	+		+	+						●	●

The blue waves represent the risk of floods and soil erosion, the molecule the periods of high herbicide concentration in runoff and the insect the breeding season in the study area. The months during which each maintenance operations were performed are greyed. The blue crosses represent the periods during which the hydraulic capacity is improved under a given maintenance strategy compared to unmanaged ditches. The red diamonds represent the periods during which the herbicide retention capacity is improved under a given maintenance strategy compared to unmanaged ditches. The green dots represent the periods during which the conditions are favourable for the biodiversity.

● Curage en dehors des périodes d'épandage des pesticides, d'exportation importante de sédiments ou encore des périodes de reproduction de certaines espèces animales ou végétales

● Plan de gestion favorisant l'entretien non simultané

Dollinger *et al.*, 2016 ; Dollinger, 2017

Solutions techniques pour déconnecter

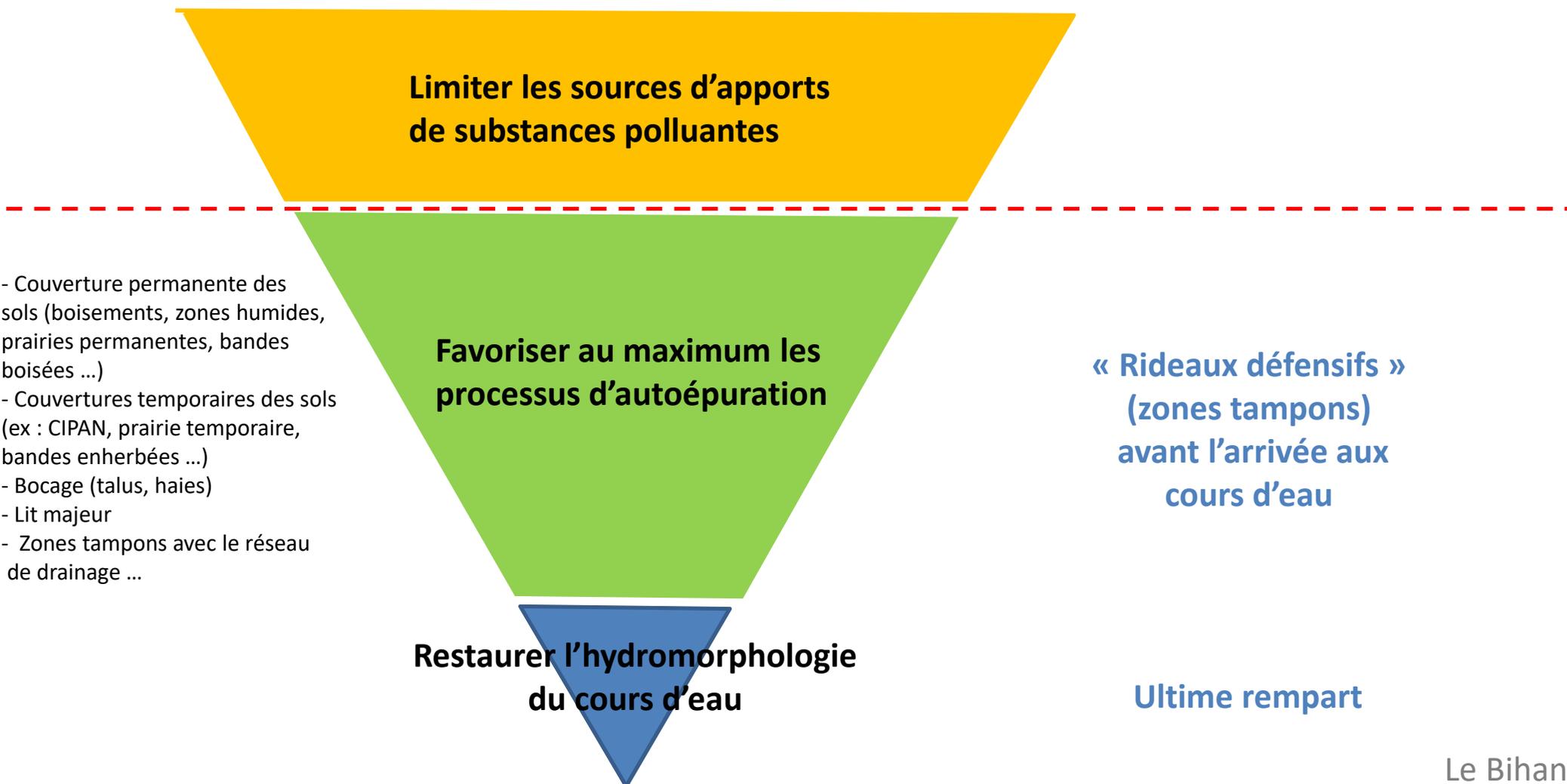
-

La mise en œuvre de zones tampons

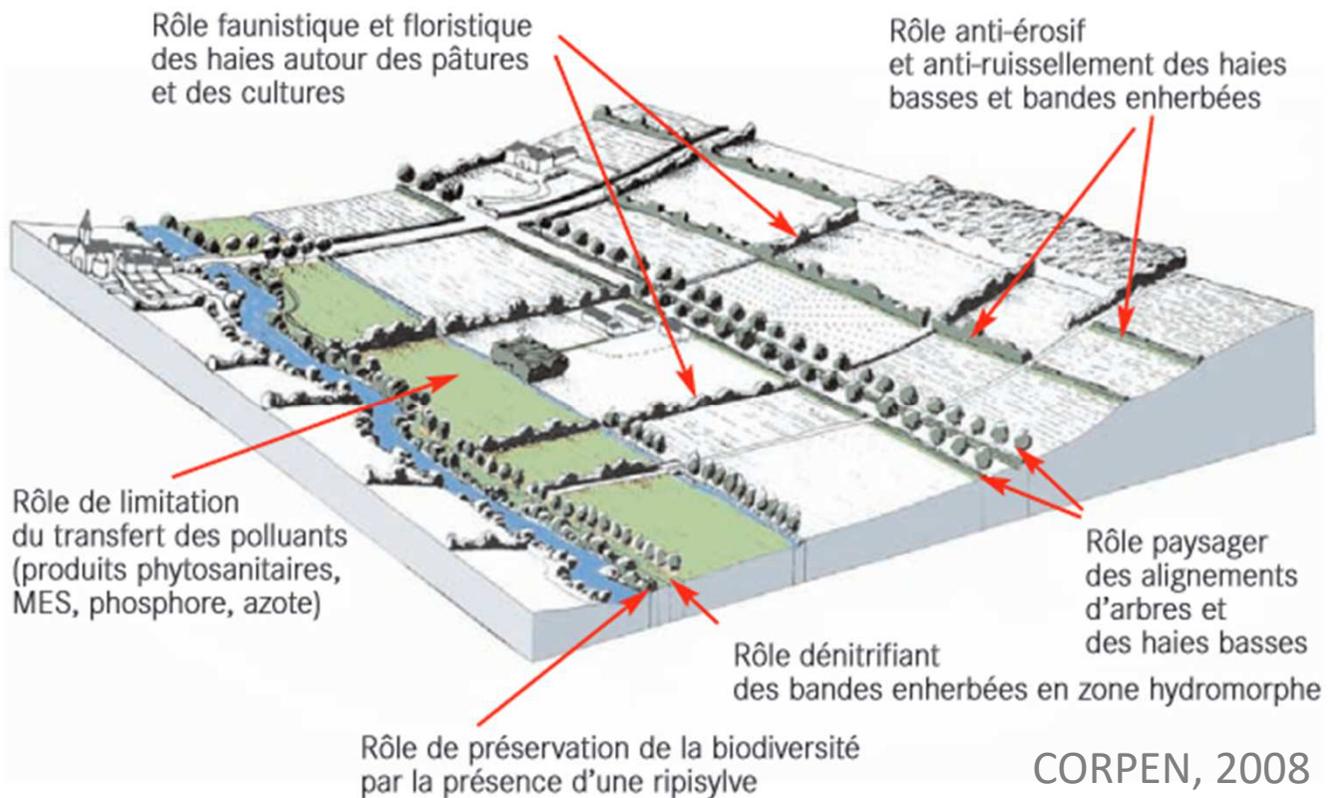
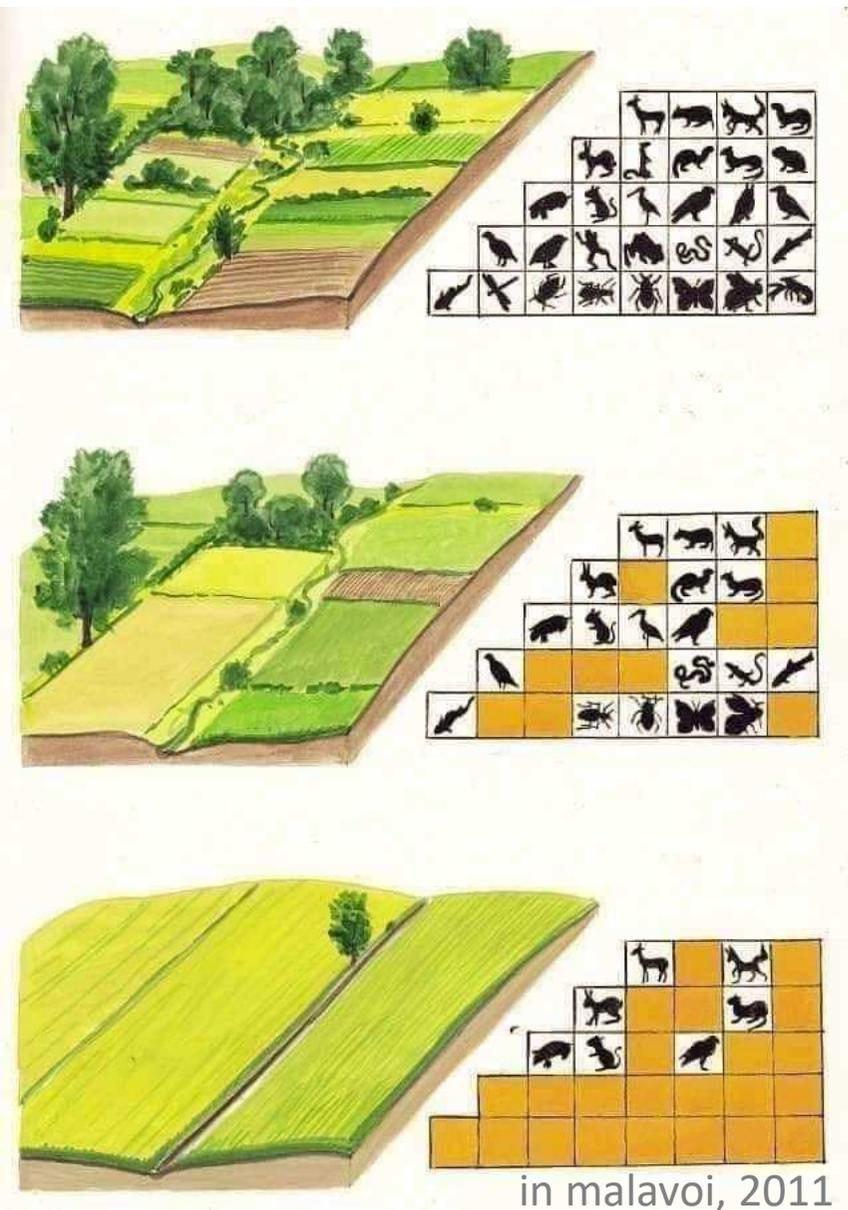


La mise en place de zones tampons

● La mise en place de zones tampons est une action complémentaire à la réduction des apports à la source et la limitation de leur transfert aux cours d'eau.



Pourquoi (re)mettre en place des zones tampons ?



Disparition progressive de zones tampons naturellement présentes sur les BV

Impacts négatifs sur les capacités auto épuratoires

Les zones tampons ou « buffer zone »

● **Définition** : Interface paysagère destiné à contribuer à la réduction des flux de polluants (Tournebize, 2018).

● **Exemple de zones tampons** (d'après Catalogne & Le Henaff, 2016) :

- ✓ **Les dispositifs enherbés** : bandes enherbées, coins de parcelles enherbées, chenaux enherbés de thalweg, chemins enherbés, bordures de champs étroites, prairies, friches
- ✓ **Les dispositifs ligneux** : ripisylves, fossés redents

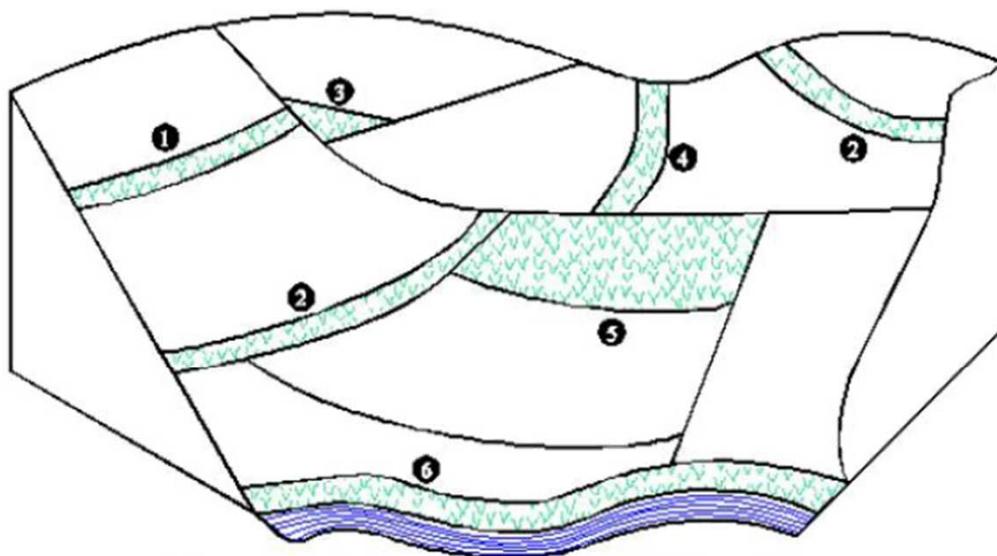


Figure 2.1 Localisation des zones tampons (CORPEN, 1997)

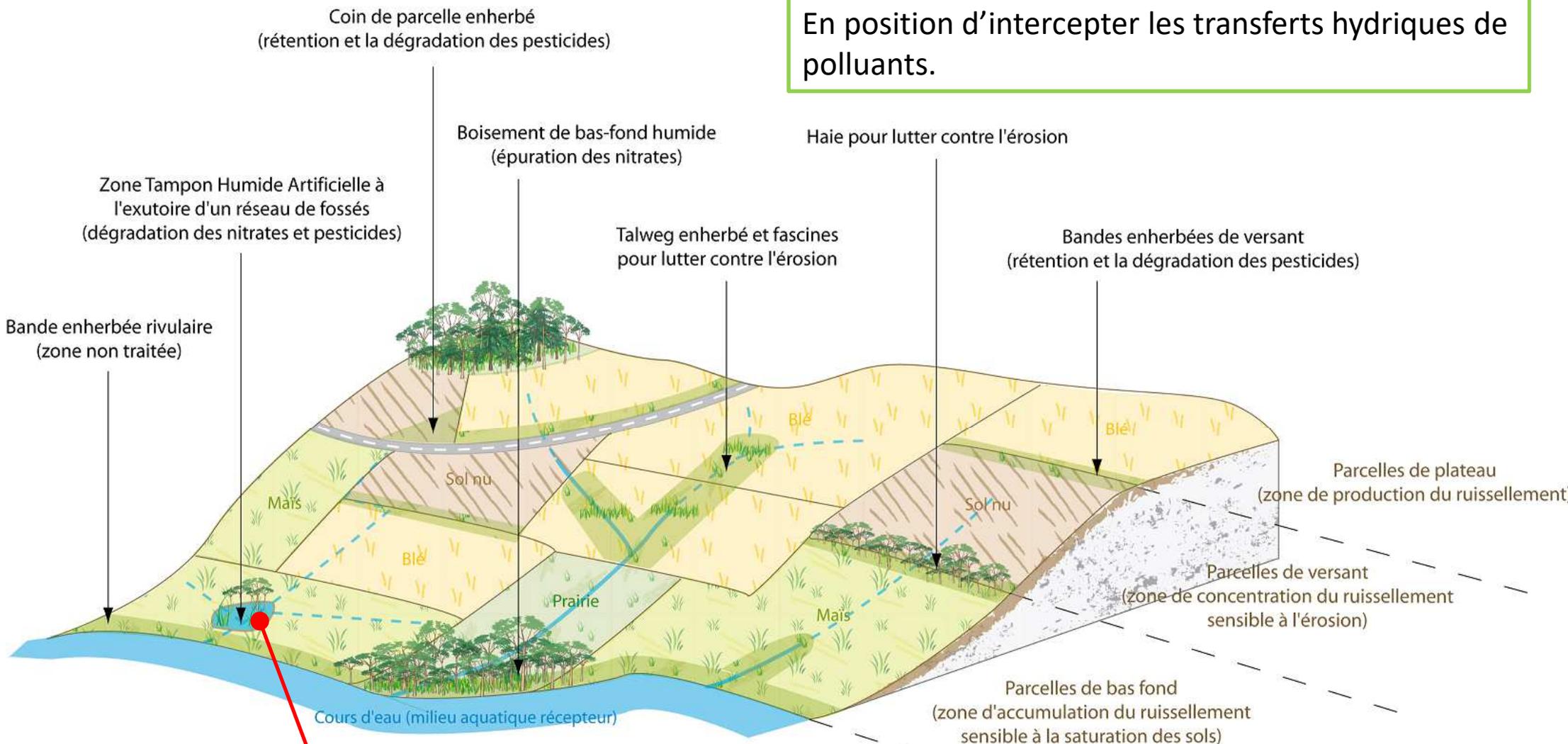
- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| ❶ Bande intra-parcellaire | ❷ Bande en bordure aval de parcelle |
| ❸ Coin aval | ❹ Chenal enherbé de thalweg |
| | ❺ Prairie en travers du thalweg |
| | ❻ Bande en bordure de cours d'eau |



© LE BIHAN, 2009

Diversité des zones tampons et localisation au sein du bassin versant

En position d'intercepter les transferts hydriques de polluants.



Hors zones humides (EPNAC, 2018) et milieux sensibles.

Efficacité des zones tampons en fonction des apports d'eau et des contaminants

Exemple des bandes riveraines

5

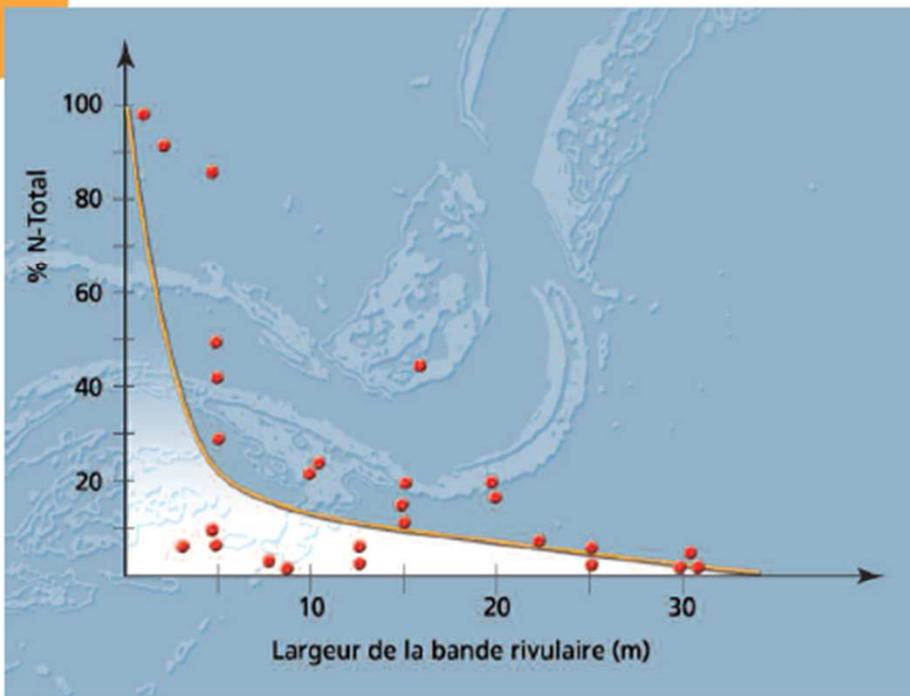


Figure 5. Évolution moyenne de la teneur en azote total dans les eaux en fonction de la largeur de la bande rivulaire (compilation de données des synthèses de Peterson et al. (1992), Vought et al. (1994) dans Maridet (1995)).

6

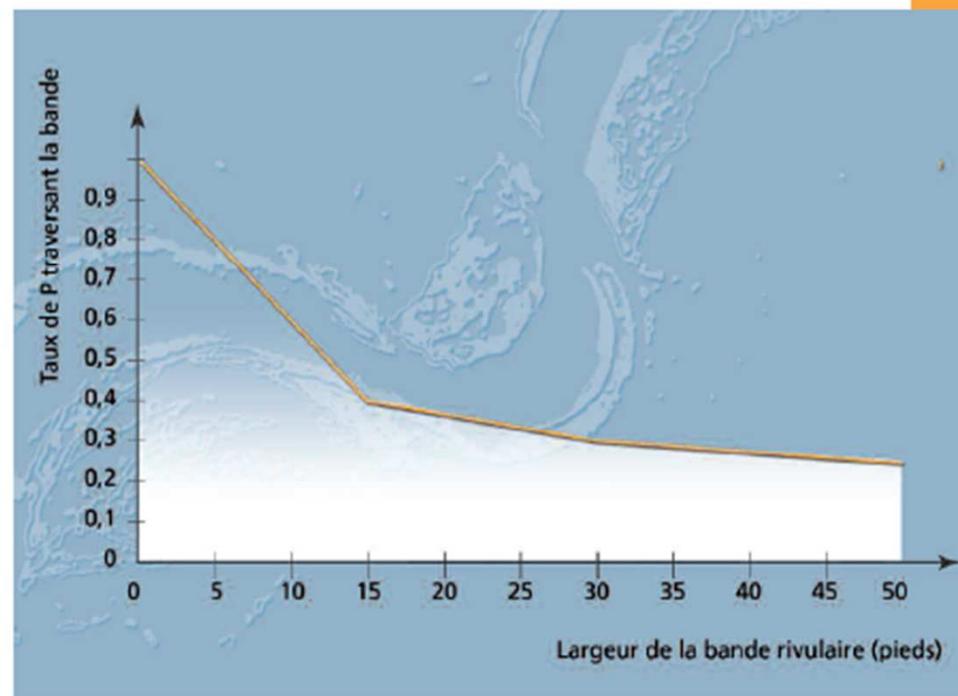
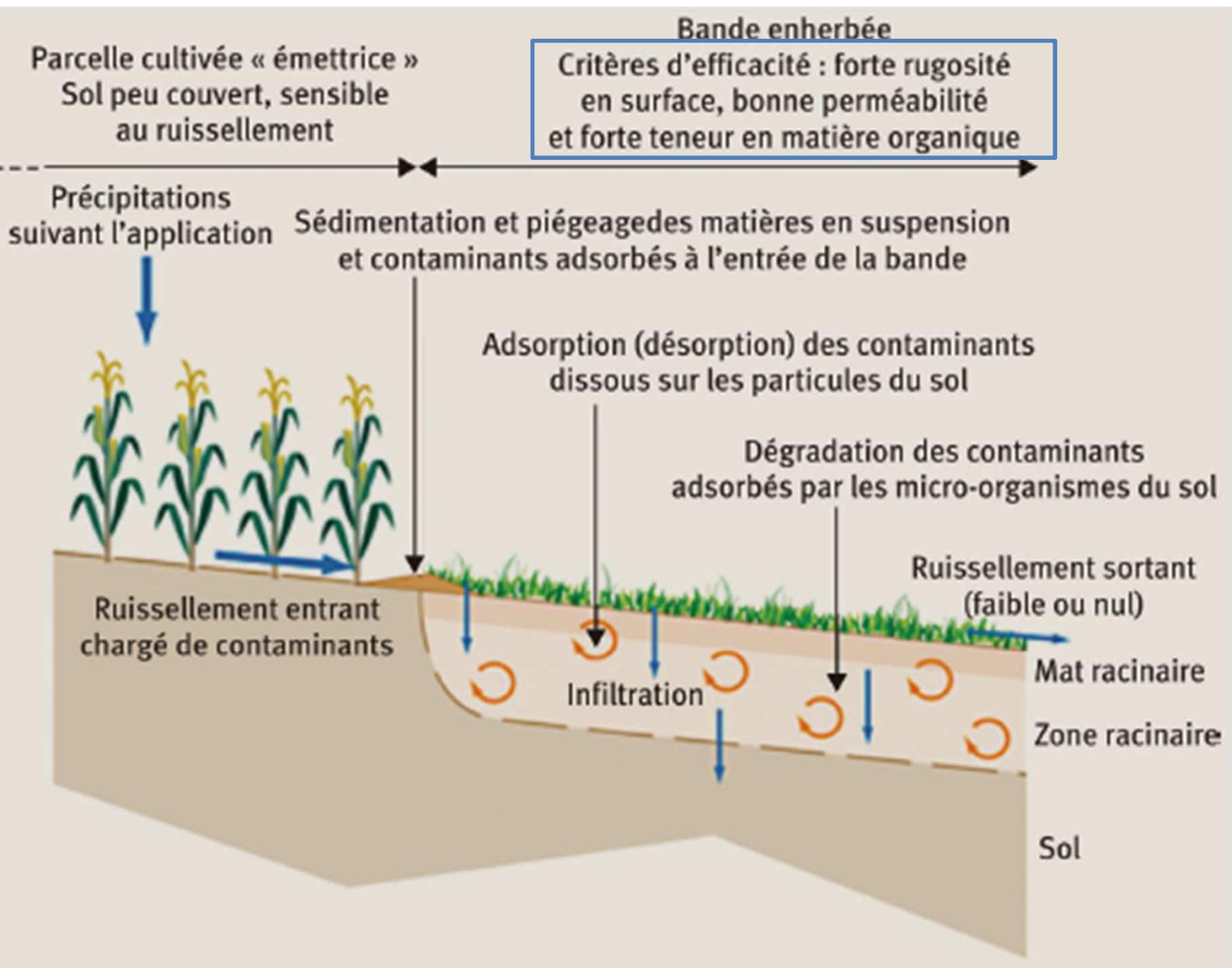


Figure 6 . Evolution moyenne de la teneur en phosphore total des eaux en sortie de bande rivulaire, en fonction de sa largeur (Osmond et al., 2002)

Comment fonctionnent ces bandes riveraines ?



Problématique du drainage

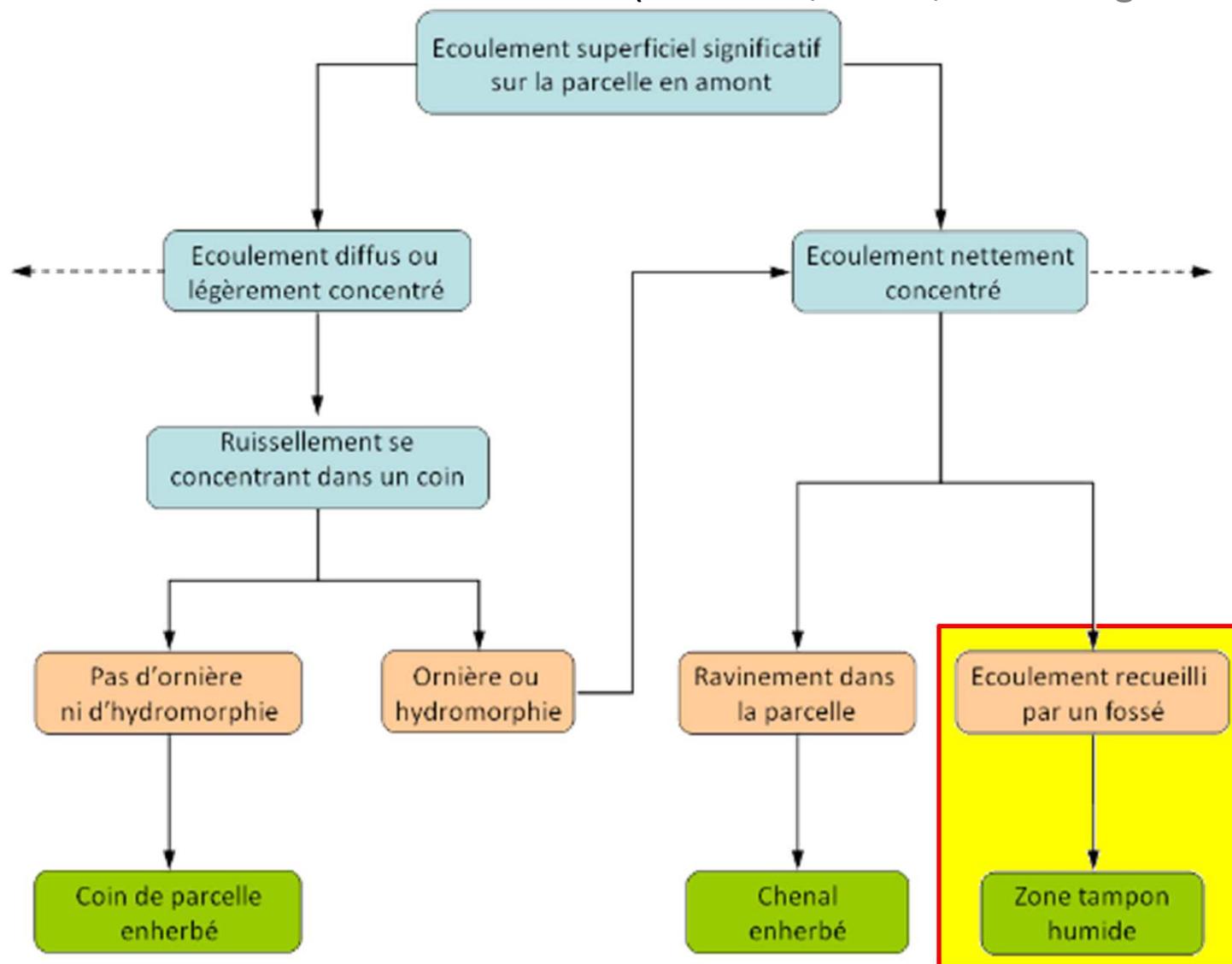
Effacité des zones tampons en fonction des apports d'eau et des contaminants

Tableau 3 - Tableau d'entrée dans la grille de lecture

	Ruissellement diffus	Ruissellement concentré	Drainage (et fossés collecteurs)	Écoulements de sub-surface	Infiltration diffuse vers les nappes
Nitrate	Nul ou négligeable	Nul ou négligeable	Zones tampons préconisées [→ § 2.2.2.b]	Zones tampons préconisées [→ § 2.2.2.a]	Zones tampons inadaptées
Matières en suspension	Zones tampons préconisées [→ § 2.3.2.a]	Zones tampons préconisées [→ § 2.3.2.b]	Zones tampons préconisées (non documenté) [→ § 2.3.2.c]	Nul ou négligeable	Nul ou négligeable
Matière organique (azote organique)					
Contaminants adsorbés (phosphore particulaire, pesticides adsorbés)					
Pesticides en solution	Zones tampons préconisées [→ § 2.4.2.a]	Zones tampons préconisées [→ § 2.4.2.b]	Zones tampons préconisées [→ § 2.4.2.c]	Zones tampons peu adaptées	Zones tampons inadaptées

Choix des zones tampons selon l'écoulement considéré

- **Extrait d'un arbre de décision** (Gril *et al.*, 2010 ; in Catalogne & Le Henaff, 2016)



Le drainage agricole transforme une pollution diffuse en une pollution canalisée (Tournebize *et al.*, 2020)

Directive Nitrate et zones tampons

- **Arrêté du 8 Août 2018** établissant le programme d'actions régional en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole

Article 4 - Actions renforcées étendues à l'ensemble de la région Bretagne

4.1 - Obligations relatives à une gestion adaptée des terres

4.1.1 - Prescriptions relatives aux zones humides

Le remblaiement, le drainage et le creusement des zones humides y compris par fossé drainant, sont interdits sans préjudice des réglementations ou règles en vigueur, excepté, en cas :

- de travaux prévus lors d'entretien et de restauration de ces zones humides ;
- de travaux d'adaptation et d'extension de bâtiments ;
- de créations de retenues pour irrigation de cultures légumières sur des parcelles drainées et déjà cultivées sur sol hydromorphe sous réserve de déconnexion des drains avec le cours d'eau récepteur et leur raccordement dans la retenue. La création des retenues fera l'objet d'un suivi présenté annuellement en CODERST.

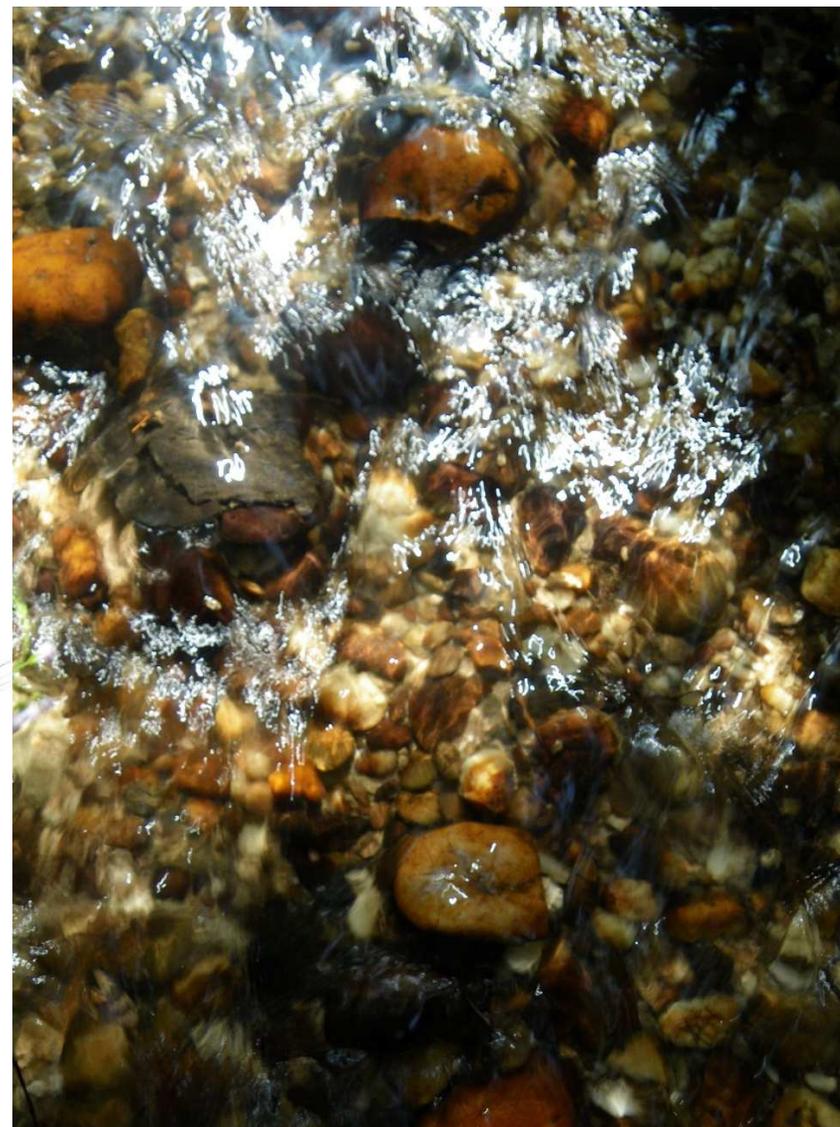
Les interventions sur des drains existants (décolmatage ou remplacement partiel) s'effectuent conformément à la réglementation en vigueur et au règlement de SAGE correspondant. Elles devront s'accompagner d'une zone tampon à l'exutoire (type fossé en méandre, fossé élargi, fossé à débordement,...) destinée à empêcher le rejet direct des eaux drainées dans le cours d'eau.

Le retournement des prairies permanentes en zones inondables est interdit.

Un double objectif de la déconnexion



Permettre la restauration d' un cours d'eau



Limiter l'impact du réseau hydraulique annexe

Solutions techniques pour déconnecter

-

« La déconnexion topographique »



A

La déconnexion topographique

B

C

En Bretagne, dans de nombreux cas : pente du versant marquée, fond de vallée relativement plat.

Intérêt de déconnecter le RHA à la limite versant - lit majeur, à l'endroit où le réseau est le moins profond (analyse de la topographie pour identifier la localisation de la déconnexion la plus pertinente).

Plusieurs aménagements possibles de la déconnexion :

- **Cas 1** : Piège à sédiments
- **Cas 2** : Filtre granulométrique
- **Cas 3** : Ruissellement puis infiltration dans une zone rugueuse et végétalisée

Cas 1 : Les pièges à sédiments

Objectifs

- Intercepter et ralentir les écoulements superficiels
- Piéger les sédiments grossiers

Excaver une cavité respectant les rapports de forme ci-dessous :

forme rectangulaire Eviter impérativement les formes rondes ou carrées qui limitent la décantation des sédiments ;

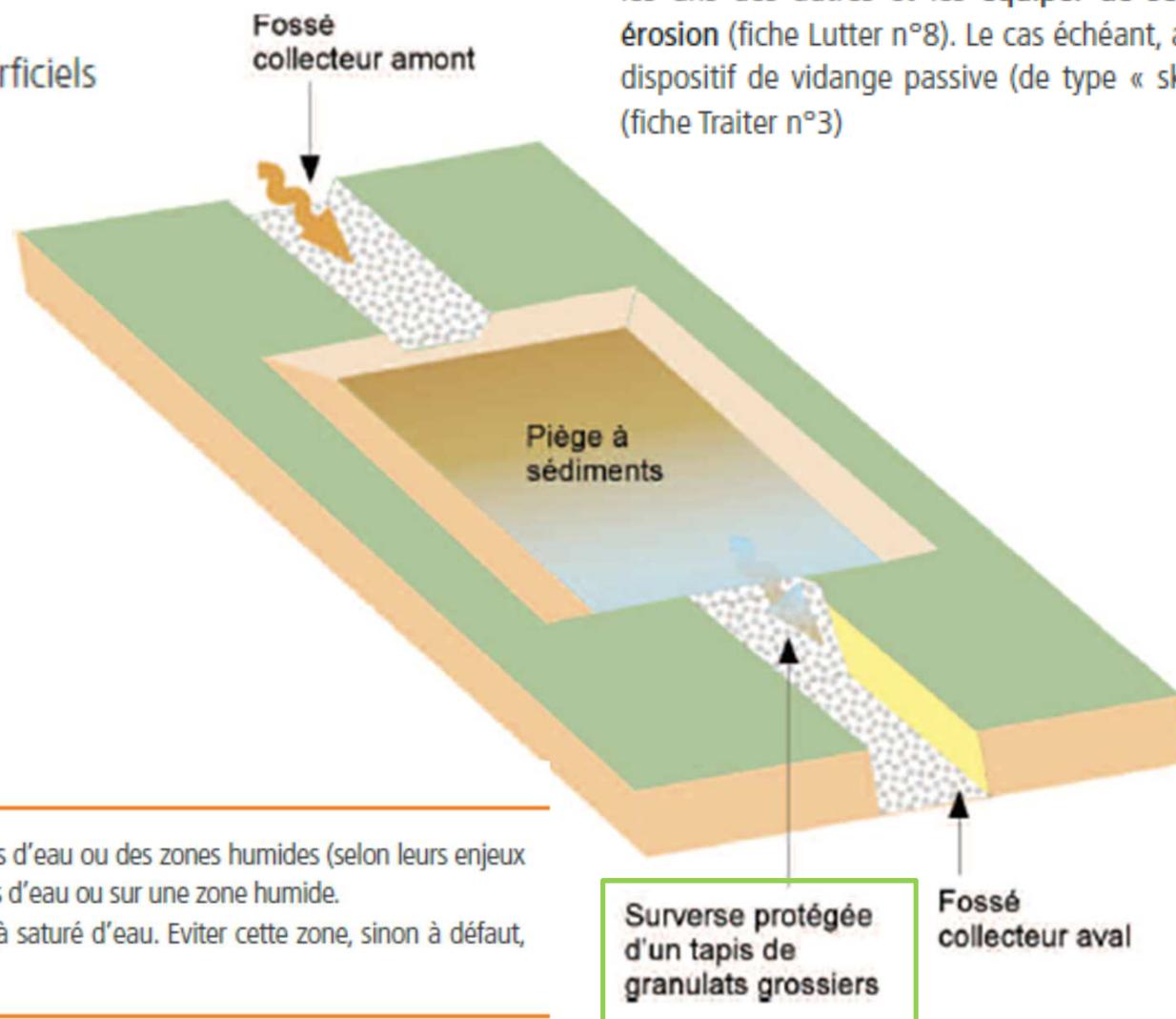
ratio longueur/largeur de 5/1 (ou plus selon le débit) ;

profondeur comprise entre 30 cm et 1 m maximum ;

- fond plat (ou légèrement incliné à contre-pente).

Positionner les pièges à sédiments à plus de 10 m ou 20 m des cours d'eau ou des zones humides (selon leurs enjeux écologiques). Ne jamais les implanter en zone sensible, dans un cours d'eau ou sur une zone humide.

Ne pas réaliser de pièges à sédiments en excavation sur un sol déjà saturé d'eau. Eviter cette zone, sinon à défaut, construire un piège hors-sol.



Positionner l'entrée et l'exutoire le plus loin possible les uns des autres et les équiper de seuils anti-érosion (fiche Lutter n°8). Le cas échéant, ajouter un dispositif de vidange passive (de type « skimmer ») (fiche Traiter n°3)

Surverse protégée d'un tapis de granulats grossiers

Fossé collecteur aval

Cas 1 : Les pièges à sédiments

Coupe longitudinale

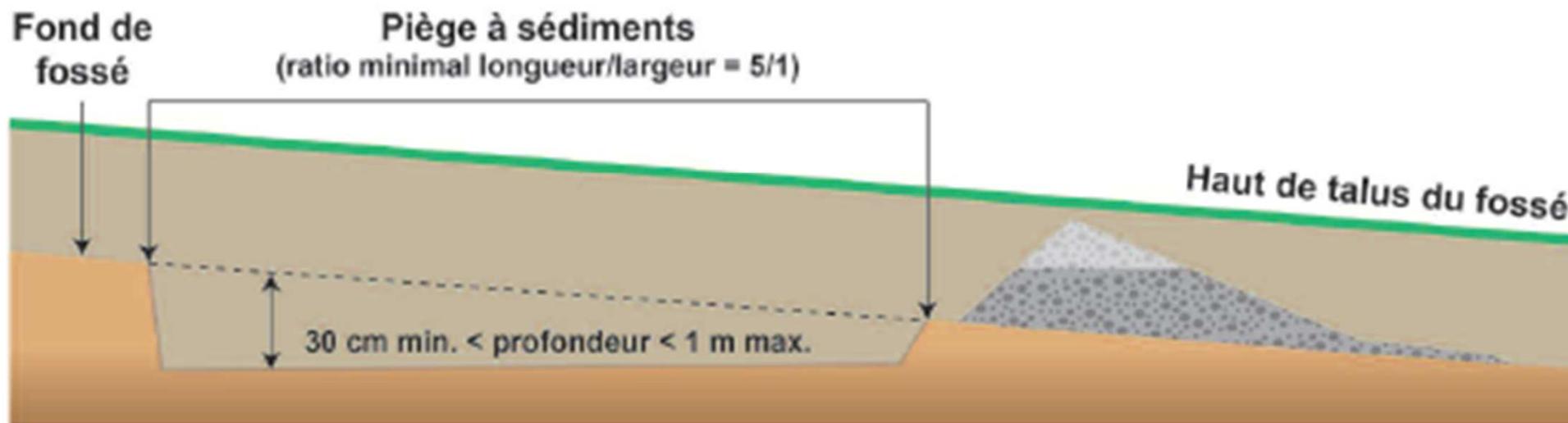
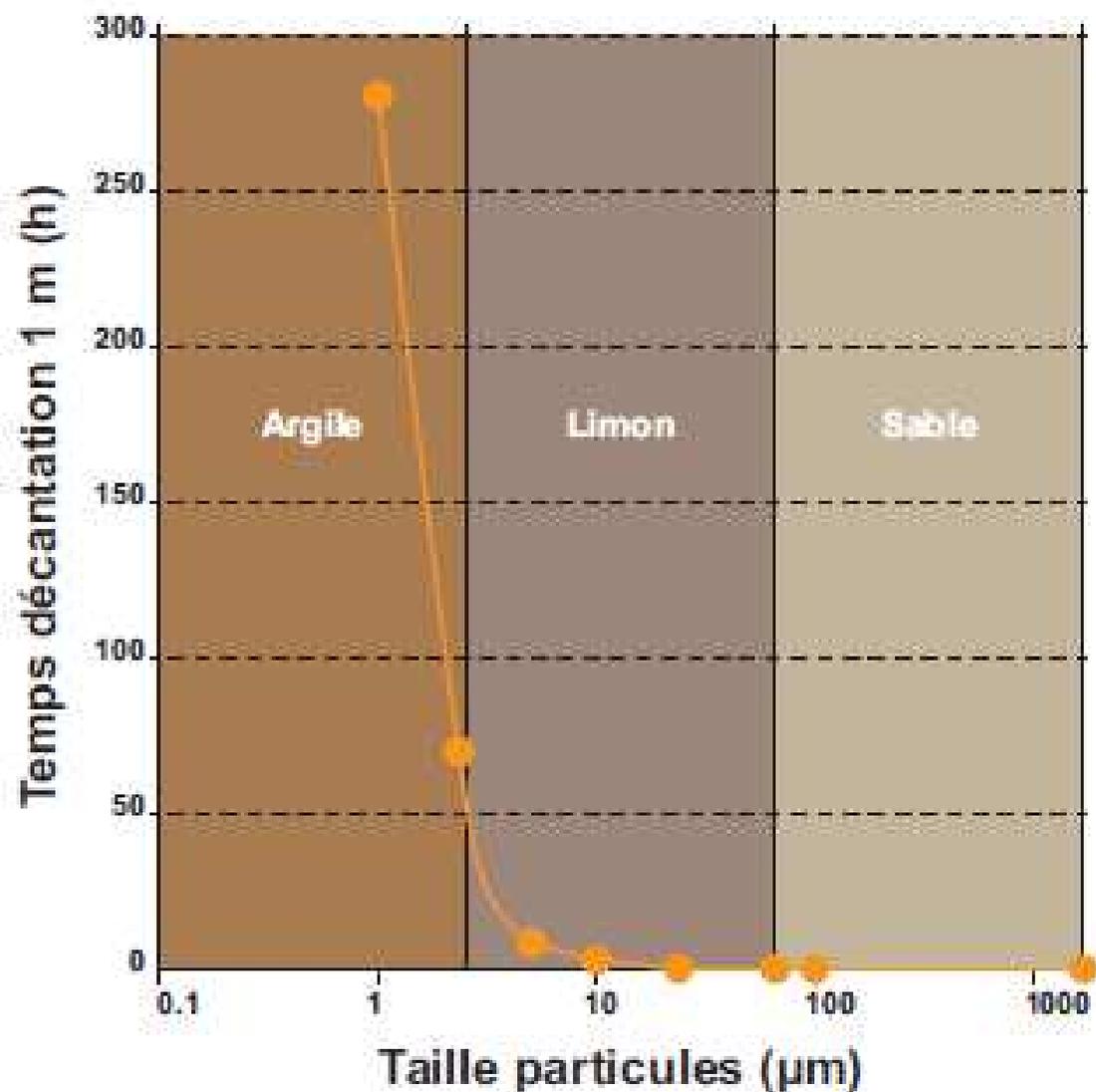


Figure 41. Schémas de principe (A) et coupe longitudinale (B) d'un piège à sédiments. Les rapports de forme indiqués constituent des ordres de grandeur à adapter au cas par cas.
Source : Alberta government (2011).

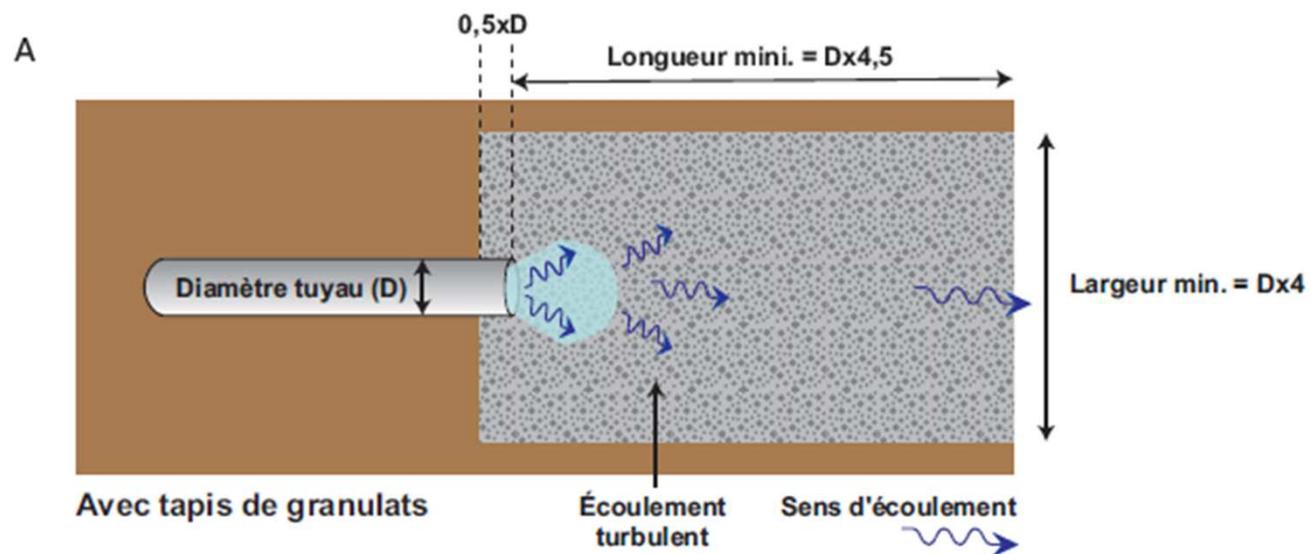
Pourquoi les pièges à sédiments ne piègent pas les sédiments les plus fins ?



© Biotope pour AFB

Figure 17. Temps de décantation des particules argileuses à sableuses, en fonction de leur taille. Source : McLaughlin (s.d.).

Cas 2 : Les filtres granulométriques



Diamètre du dispositif de rejet (cm)	Débit (m^3/s)	Longueur maximale du tapis de granulats (m)	Diamètre minimal (D50) des granulats (cm)
30	0,14	3	10
	0,28	4	15
46	0,28	3	15
	0,57	5	20
	0,85	7	30
	1,13	8	41
61	0,85	5	20
	1,13	8	20
	1,41	8	30
	1,70	9	40

Objectifs

- Lutter contre l'érosion
- Dissiper l'énergie hydraulique en diminuant les vitesses d'écoulement
- Favoriser la dispersion ou l'infiltration de l'eau

Guide chantier AFB ; Mac Donald *et al.*, 2018 ; Fiche Lutter n°7, page 67

Cas 3 : Ruissellement puis infiltration dans une zone rugueuse et végétalisée



Efficacité selon :

- Distance entre le rejet et les milieux sensibles
- Rugosité, couverture végétale et perméabilité des sols
- Caractéristiques du rejet (débit, qualité d'eau)

Nécessité d'identifier lors du diagnostic l'ensemble des zones permettant d'envisager une déconnexion .

Solutions techniques pour déconnecter

-

Les ZTHA



Les Zones Tampons Humides Artificielles (ZTHA)

● Zone Tampon Humide Artificielle (ZTHA) :

- un élément du paysage en position particulière permettant d'exercer un effet tampon entre les parcelles agricoles (parcelles drainées) et le cours d'eau.
- un bassin de rétention de profondeur et de hauteur d'eau variables, végétalisées ou pas.

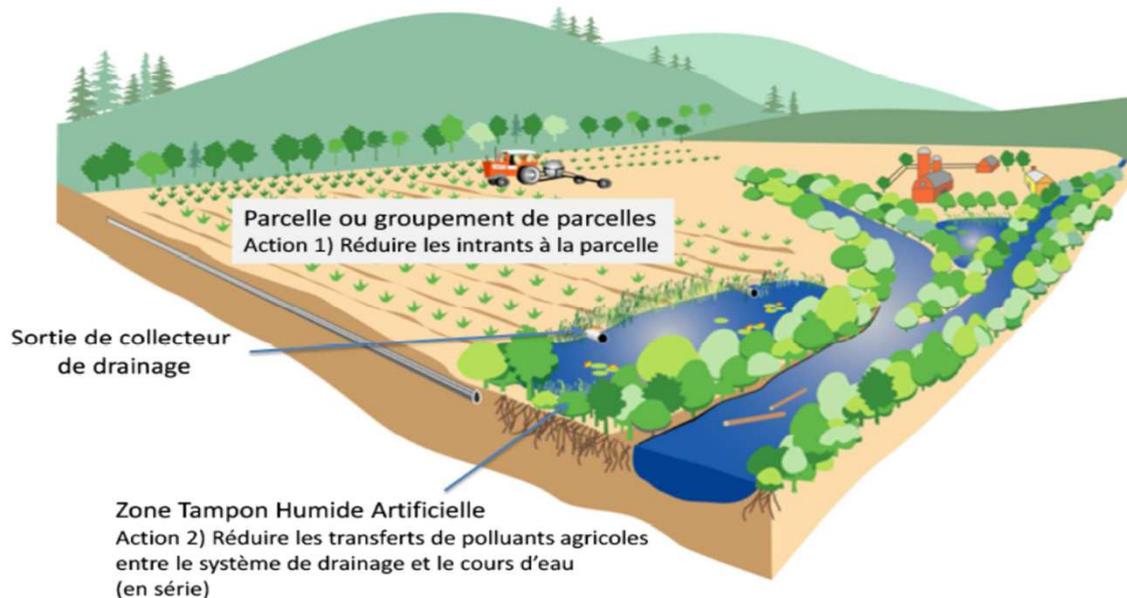


Figure 1 : Stratégie de réduction de la pollution diffuse d'origine agricole. Adapté de Mitsch et Gosselink, 2000



Année de programmation 2013 – Domaine Ecophyto - Action 3 Zone Tampon

Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage

Version 3

RAPPORT FINAL

Coordinateur : Julien TOURNEBIZE – IRSTEA

Janvier 2015

En partenariat avec :



Direction Départementale des Territoires de Seine-et-Marne
288, avenue Georges Clémenceau
77 005 Melun cedex

1

Etude réalisée en Seine et Marne : version V3 de Janvier 2015

Principes et dimensionnement d'une ZTHA

● 4 grands principes :

- ✓ Définition de plusieurs objectifs à l'aménagement dont un prioritaire (qualité d'eau)
- ✓ Rusticité (simplicité des ouvrages et respect des schémas naturels pour la morphologie)
- ✓ Emprise foncière minimale (environ 1% du bassin versant)
- ✓ Elaboration de l'aménagement pour un minimum d'entretien et de maintenance

● Règles de dimensionnement :

- ✓ Profondeur : entre 0,5 et 1,3 m
- ✓ Stockage de l'eau pendant une durée de 7 jours
- ✓ Valeur moyenne de 76 m³ par hectare drainé
- ✓ Sur une base de 0,8 m de profondeur, cela correspond à une superficie du BV amont de 1%
- ✓ Ratio de 1 à 1,6% entre la surface de la ZTHA et la surface contributive drainée amont.

Un objectif de 50% des flux est réaliste avec une emprise foncière de l'ordre de 1% du BV amont.

Rappel : les ZTHA ne doivent pas être implantées sur des zones humides



Synoptique	ZONES HUMIDES Définies par l'article R211-108 du Code de l'Env.	OUVRAGES ARTIFICIELS (dispositifs hors zones humides)			
		Flux et rejets des filières de traitement des eaux usées urbaines résiduelles	Flux et rejets diffus agricoles	Flux d'eaux pluviales	
	ZONES HUMIDES	ZONES DE REJET VEGETALISEES	DISPOSITIFS D'INFILTRATION	ZONES TAMPONS	TECHNIQUES ALTERNATIVES VEGETALISEES
Autres appellations	Sans objet.	Zones de Rejet Intermédiaires. Zones Humides Artificielles.	Aires d'infiltration. Zones d'infiltration.	Dispositifs végétalisés permanents (DVP), dont bandes boisées. Zones Tampons Humides Artificielles (ZTHA).	Ouvrages végétalisés de gestion amont (ou à la source) ou décentralisés des eaux pluviales.
Techniques utilisées	Sans objet.	Bassins, fossés/noues, prairies, autres...	Dispositifs d'infiltration, bassins d'infiltration.	Zones végétalisées, bandes enherbées, zones arborées (haies, talus, ripisylve, fascines). ZTHA : ouvrages de rétention et de remédiation, fossés.	Fossés et noues enherbés, bassins végétalisés, zones végétalisées inondables, massifs plantés, jardins de pluie, parkings végétalisés, toitures terrasses végétalisés.
Domaine	Milieus naturels.	Domaine de l'assainissement : rejet d'eaux usées traitées.	Domaine de l'assainissement : rejet d'eaux usées traitées.	Milieu agricole : eaux circulant dans les versants agricoles.	Domaine de la gestion des eaux pluviales issues du ruissellement sur surfaces imperméabilisées (milieu urbain, infrastructures de transport).

Fonctionnement d'une ZTHA

- En série pour les nitrates et en parallèle pour les pesticides

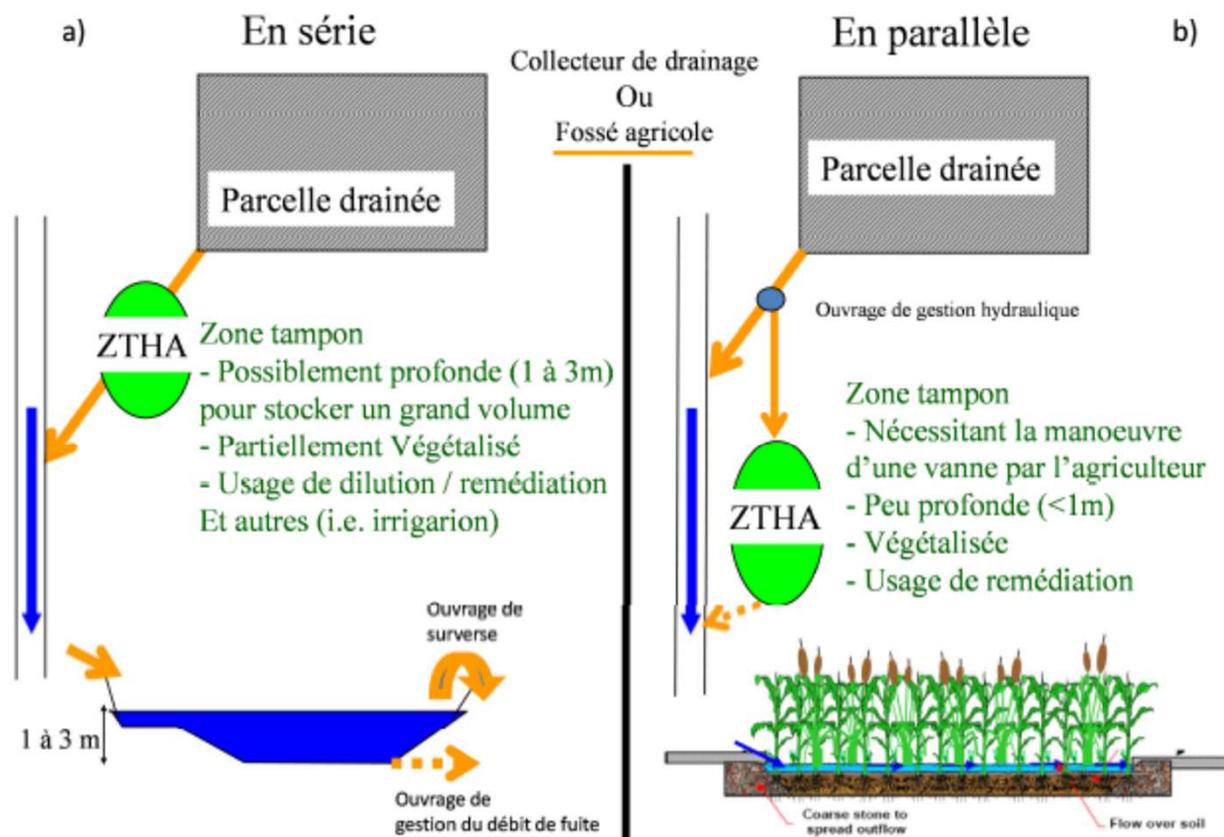


Figure 9 : Stratégie testée par Irstea, d'interception des eaux de drainage agricole

Un facteur clé :
Le temps de séjour

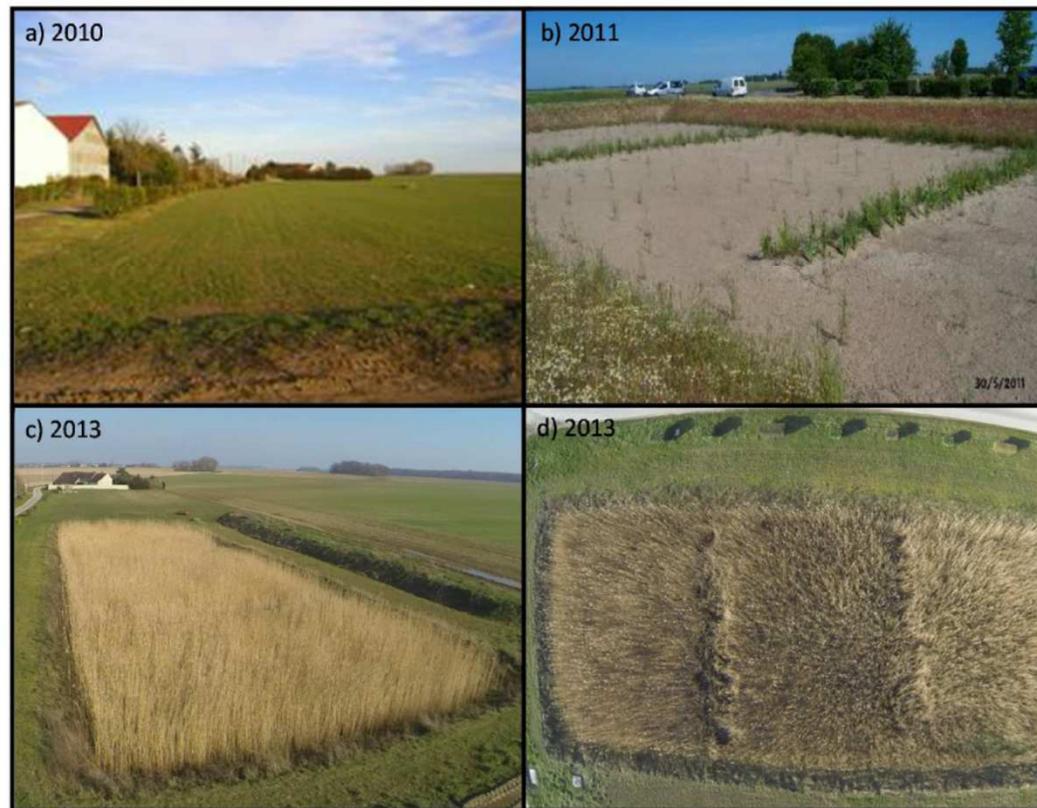
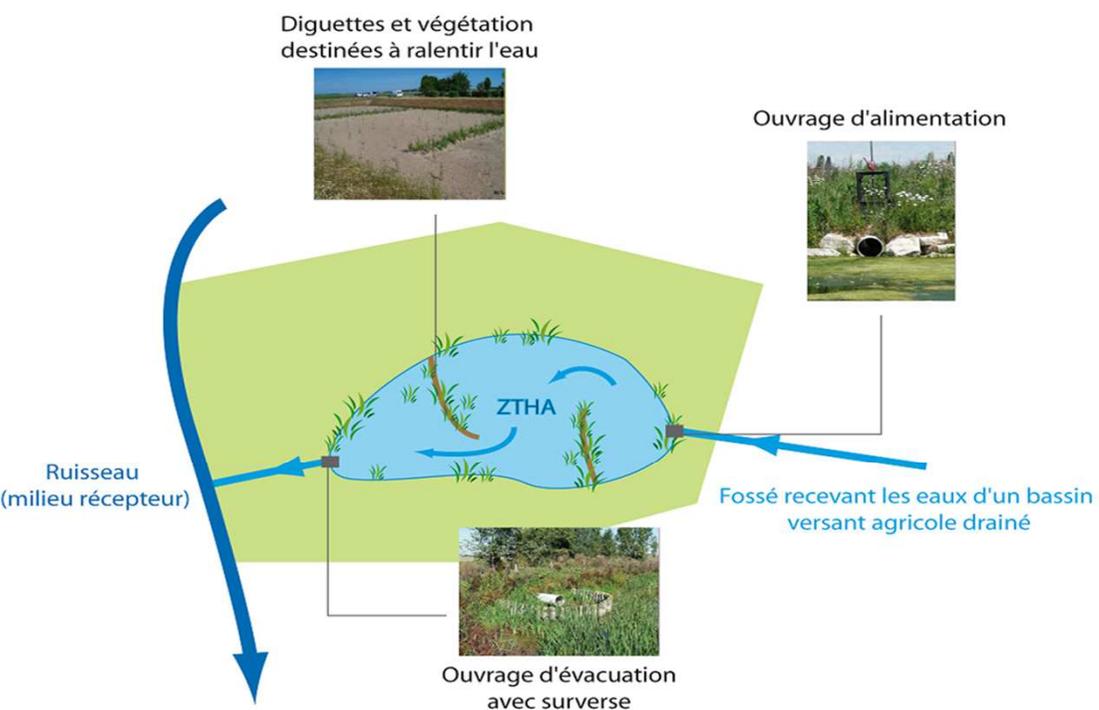
Pourquoi en parallèle pour les pesticides ?

90% des flux de pesticides exportés par drainage s'effectuent pendant les 3 premières « crues » après application. Statistiquement, l'occurrence d'une « crue » pendant la saison de drainage est hebdomadaire. Ainsi, 3 à 4 semaines semblent nécessaires dans ce cas pour exporter le maximum de flux de pesticides (Tournebize *et al.*, 2015).

- Gestion par vannes nécessaire pour les dispositifs en parallèle (avec implication de l'agriculteur)

Exemple de Zones Tampons Humides Artificielles (ZTHA)

Stratégie d'implantation de la ZTHA en série



Solutions techniques pour déconnecter

-

Les zones tampons végétalisées (ZTVA)



Les zones tampons végétalisées

● **Principe** : interrompre les réseaux de drainage existants à 5 mètres au minimum du cours d'eau récepteur.

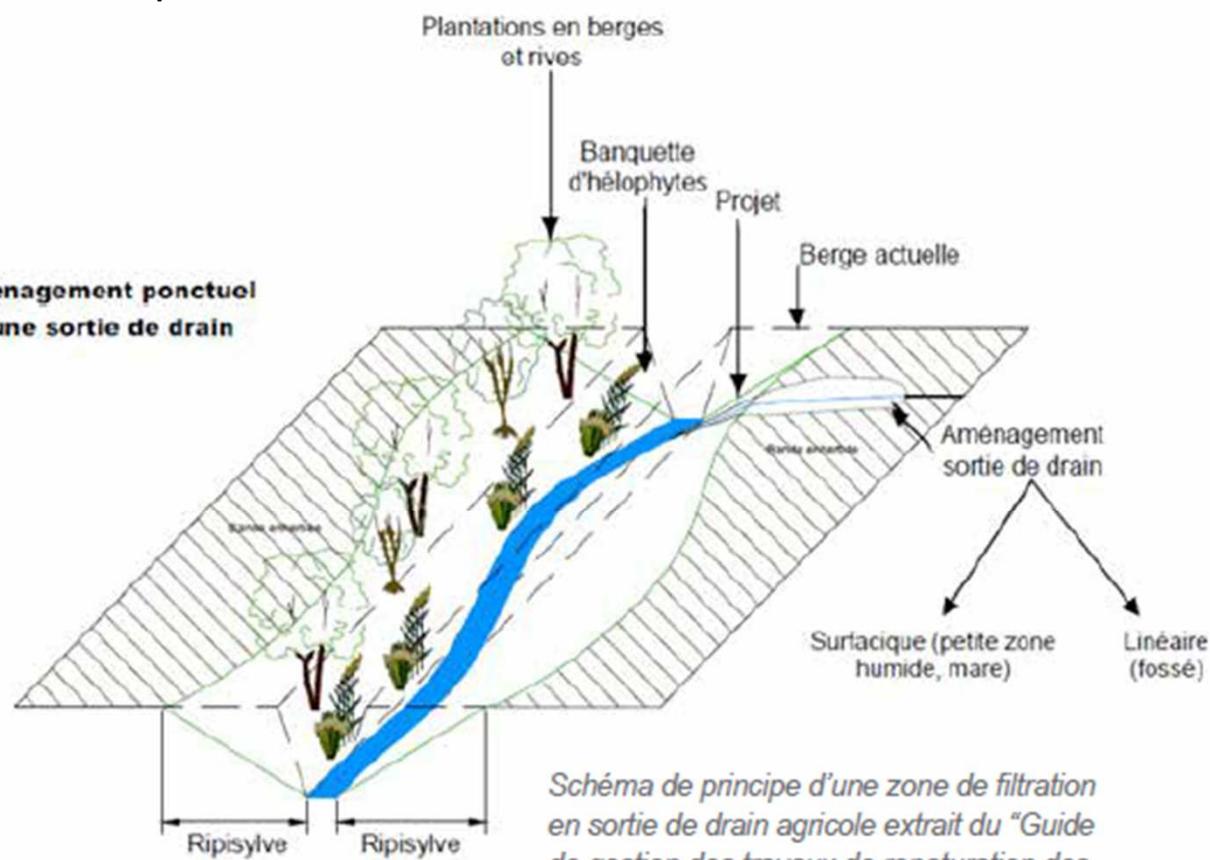
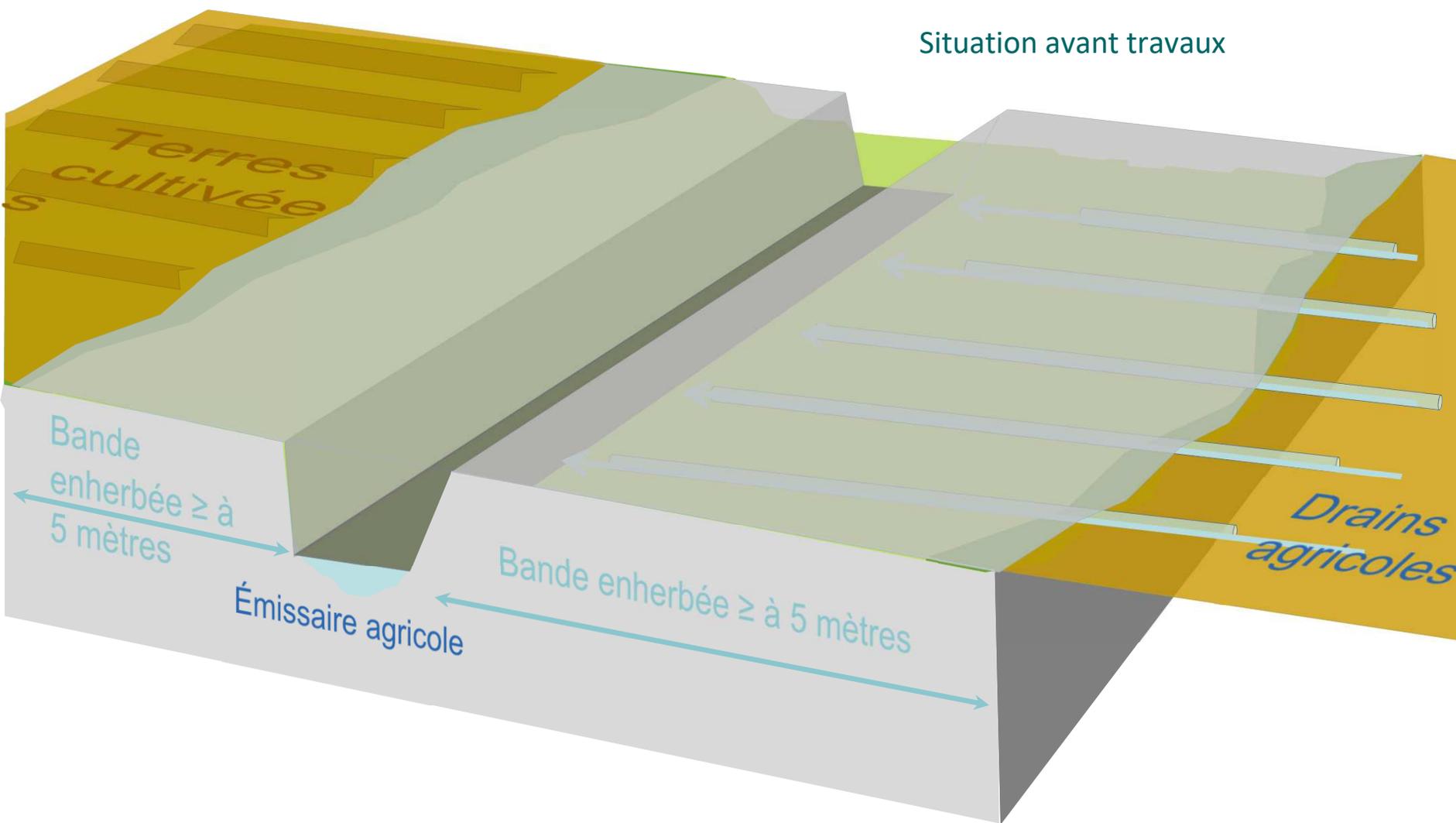


Schéma de principe d'une zone de filtration en sortie de drain agricole extrait du "Guide de gestion des travaux de renaturation des émissaires agricoles de plaine sur le bassin Rhin-Meuse" téléchargeable sur le site de l'agence de l'eau Rhin-Meuse.



Situation avant travaux



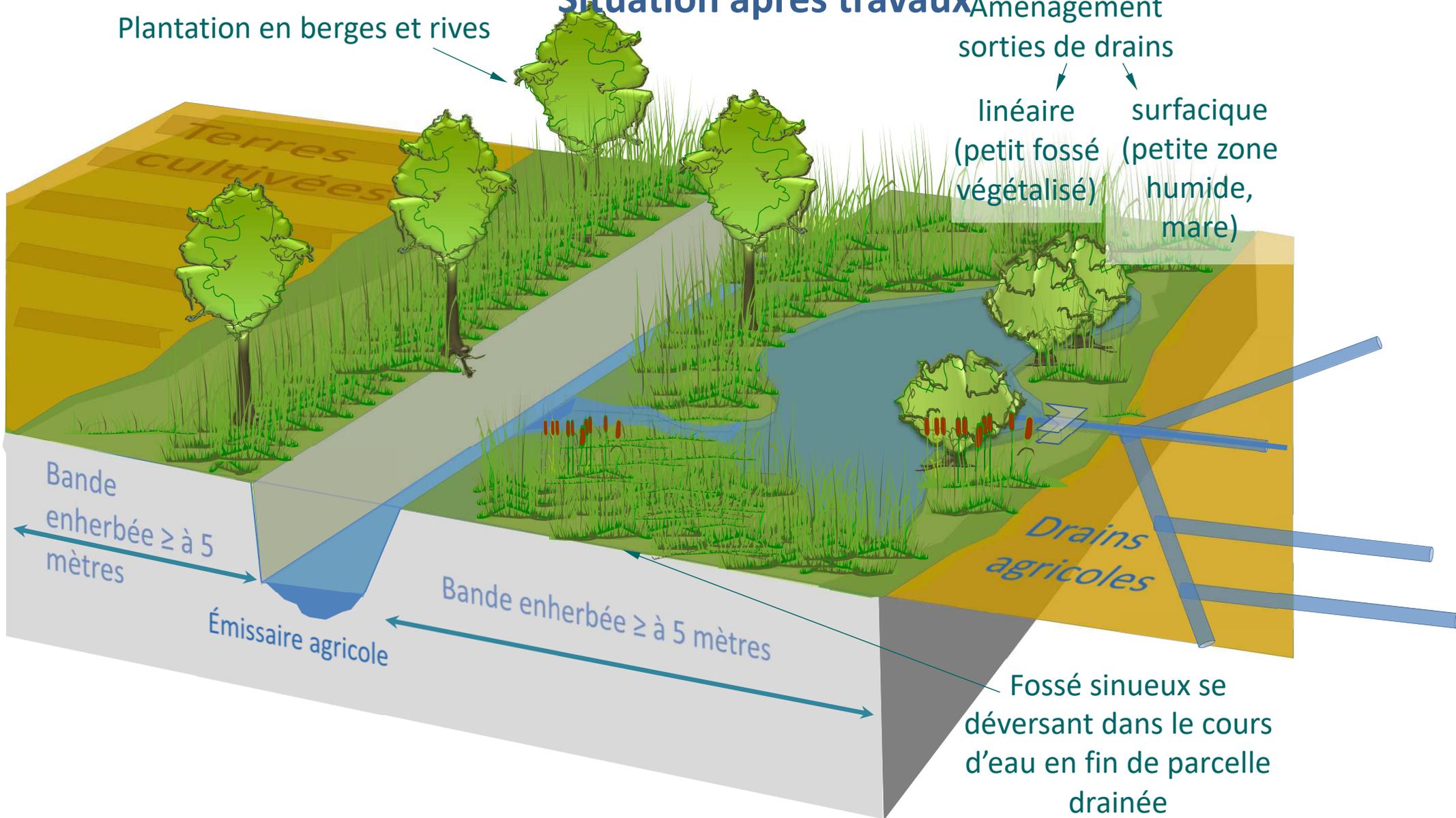
Situation après travaux

Plantation en berges et rives

Aménagement
sorties de drains

linéaire
(petit fossé
végétalisé)

surfacique
(petite zone
humide,
mare)

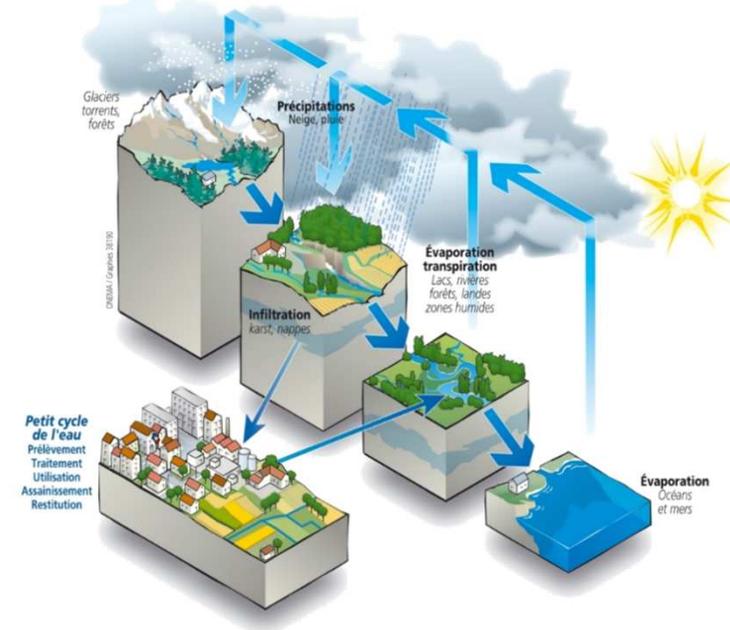
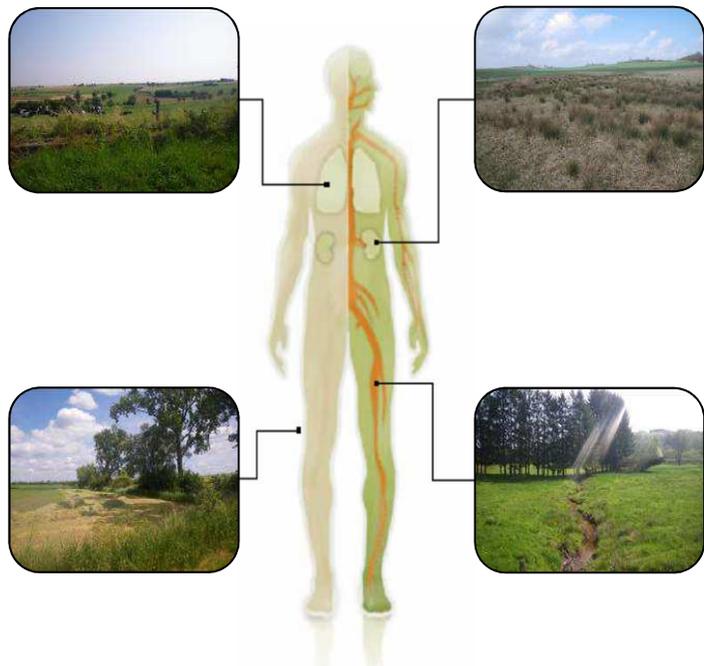


Conclusion



Points clés à retenir

1. Considérer les interventions sur les fossés 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 zones tampons naturelles et la mise en place de nouvelles zones.
3. Adopter des mesures répondant aux différents objectifs (qualité d'eau, quantité d'eau, inondation, biodiversité, stockage du carbone, réduction du réchauffement des eaux, ...).



Réunion ATBV du 31 mai 2022 dédié à ce sujet

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, appearing as dark, somewhat blurry shapes. The text 'MERCİ DE VOTRE ATTENTION' is overlaid in white, bold, sans-serif font across the center of the image.

MERCİ DE VOTRE ATTENTION

Synthèse bibliographique

AERM, 2015. Zones tampons végétalisées en sortie de drains agricoles (ZTVA). 8 pages.

AULANIER, F., ADOIR, E., 2012. Diagnostic de bassin versant : transformation du paysage agricole charentais, artificialisation des versants et des écoulements (PFE-IDEA). AgroParisTech.

BAILLY, J.S., LEVAVASSEUR, F., OSMAN, C., 2010. Drainage channel and terrace walls mapping using VHSR optical remote sensing data. Presented at the Journées ORFEO-CNES', CNES-ORFEO.

BLANN, K.L., ANDERSON, J.L., SANDS, G.R., VONDRACEK, B., 2009. Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems: A Review. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 39, 909–1001. doi:.

CARLUER, N., MARSILY, G. DE, 2004. Assessment and modelling of the influence of man-made networks on the hydrology of a small watershed: implications for fast flow components, water quality and landscape management. *J. Hydrol.* **285**, 76-95.

CATALOGNE C. & LE HENAFF G., 2016. Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole. Collection Guide et protocole. Rapport IRSTEA/ONEMA élaboré dans le cadre du Groupe Technique Zones Tampons. 44 pages.

CHAUVIGNE & LEMOINE, 2019. Guide Biodiversité & chantiers. Comment concilier Nature et chantiers urbains ?, édition EGF.BTP, Paris. 80 pages.

DAUSSE A., AUGIER A., MAGUEUR A., GROUHAN L., BURGUIN E. & JUNGAS E., 2020. Les zones humides de Bretagne, Etat des lieux des altérations, Enjeux de la restauration. Rapport du FMA. 108 pages.

DES TOUCHES H. ET ANRAS L., 2005. Curage des canaux et fossés d'eau douce en marais littoraux, Cahier technique, Ed. Forum des Marais Atlantiques, Rochefort, 44 p.

DOMANGE, N., 2001. Diagnostic et possibilités d'aménagement d'un petit bassin versant viticole pour la lutte contre la contamination par les produits phytosanitaires (DEA).

Synthèse bibliographique

- DOLLINGER, J., DAGÈS, C., BAILLY, JS., LAGACHERIE, P., VOLTZ, M., 2014.** Synthèse bibliographique des différentes fonctions des réseaux de fossés aux échelles du fossé élémentaire et du réseau. Rapport ONEMA/INRA. 54 pages.
- DOLLINGER J., DAGES C., BAILLY J.S., LAGACHERIE P., VOLTZ M., 2016.** Managing ditches for agroecological engineering of landscape. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2015, 35 (3), pp.999-1020.
- DOLLINGER, 2016.** Analyse et modélisation des transferts et de la rétention de pesticides dans les fossés agricoles infiltrants en lien avec les stratégies d'entretien. Sciences agricoles. Montpellier SupAgro, 377 pages.
- EPNAC, 2018.** Définitions autour des ZRV. 4 pages.
- GALINEAU, 2020.** Etude exploratoire des rangs zéro sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire. Rapport de stage de Master 2. Direction Bretagne de l'Office Français de la Biodiversité / Université de Rennes 1. 32 pages.
- GRIL J.J., LE HENAFF G., FAIDIX K., 2010.** Mise en place de zones tampons et évaluation de l'efficacité de zones tampons existantes destinées à limiter les transferts hydriques de pesticides. *Guide de diagnostic à l'échelle du petit bassin versant*. Rapport du CEMAGREF. 42 pages.
- HÖSL, R., STRAUSS, P., GLADE, T., 2012.** Man-made linear flow paths at catchment scale: Identification, factors and consequences for the efficiency of vegetated filter strips. *Landsc. Urban Plan.* **104**, 245-252.
- KAO, C., VERNET, G., FILLEUL, J.M.L., NÉDÉLEC, Y., CARLUER, N., GOUY, V., 2002.** Élaboration d'une méthode de typologie des fossés d'assainissement agricole et de leur comportement potentiel vis-à-vis des produits phytosanitaires. *Ingénieries*, **29**, 49-65.
- KEMP P., SEAR D., COLLINS A., NADEN P. & JONES I., 2011.** The impacts of fine sediment on riverine fish, *Hydrological process*, vol. 25, 1800-1821 pp.

Synthèse bibliographique

KRÖGER, R., MOORE, M.T., LOCKE, M.A., CULLUM, R.F., STEINRIEDE JR., R.W., TESTA III, S., BRYANT, C.T., COOPER, C.M., 2009. Evaluating the influence of wetland vegetation on chemical residence time in Mississippi Delta drainage ditches. *Agric. Water Manag.* **96**, 1175-1179.

LAGACHERIE, P., DIOT, O., DOMANGE, N., GOUY, V., FLOURE, C., KAO, C., MOUSSA, R., ROBBEZ-MASSON, J.M., SZLEPER, V., 2006. An indicator approach for describing the spatial variability of artificial stream networks with regard to herbicide pollution in cultivated watersheds. *Ecol. Indic.* **6**, 265–279. doi:10.1016/j.ecolind.2005.02.003

LOUMAGNE, C., TALLEC, G. (COORD), 2013. L'observation long terme en environnement.

LE BIHAN, 20019

LE BIHAN, 2022. Les effets de la restauration morphologique des cours d'eau sur la qualité de l'eau. Support de présentation. Direction Bretagne et Direction Pays-de-la-Loire de l'Office Français de la Biodiversité. 53 pages.

LEVAVASSEUR F., 2012. Structure du paysage et fonctionnement hydrologique : application aux réseaux de fossés en zone viticole méditerranéenne. Montpellier SupAgro, Montpellier, France.

MC DONALD D., DE BILLY V. & GEORGES N., 2018. 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*. Agence française de la biodiversité. 148 pages.

MORIN F., BIZET V., 2020. Entretien des fossés et des bas côtés routiers, Guide technique départemental. Conseil Départemental des Côtes-d'Armor. 48 pages.

NEEDELMAN, KLEINMAN, P.J.A., STROCK, J.S., ALLEN, A.L., 2007. Improved management of agricultural drainage ditches for water quality protection: An overview. *J. Soil Water Conserv.* **62**, 171-178.

OMAFRA, 2019. Exploitation et entretien d'un réseau de drainage souterrain. Fiche technique. Disponible sur <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/10-092.htm>.

Synthèse bibliographique

- PAPPAS, E.A., SMITH, D.R., 2007.** Effects of dredging an agricultural drainage ditch on water column herbicide concentration, as predicted by fluvium techniques. *J. Soil Water Conserv.* **62**, 262-268.
- RHOADS B.L., MASSEY K.D., 2012.** Flow structure and channel change in a sinuous grass-lined stream within an agricultural drainage ditch: Implications for ditch stability and aquatic habitat. *River Res. Appl.*, **28**, 39-52.
- TANG, X., ZHU, B., KATOU, H., 2012.** A review of rapid transport of pesticides from sloping farmland to surface waters: Processes and mitigation strategies. *J. Environ. Sci.* **24**, 351–361. doi:10.1016/S1001-0742(11)60753-5.
- 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.
- TOURNEBIZE J., CHAUMONT C., MARCON A., MOLINA S., BERTHAULT D., 2015.** Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage. Rapport ONEMA/IRSTEA, Version 3. 60 pages.
- TOURNEBIZE et al., 2017.** Réduire les flux de pesticides et nitrate par une zone tampon humide artificielle : Site pilote de Rampillon. Support de présentation IRSTEA. Disponible sur : http://atvbv.fr/sites/default/files/media/porte_documents/journees_techniques/2017-jan_atvbv_zonestampons_irstea-j-tournebize.pdf
- TOURNEBIZE J., HENINE H., CHAUMONT C., 2020.** Gérer les eaux de drainage agricole : du génie hydraulique au génie écologique,[online], *Revue Drainage agricole : enjeux, connaissances, perspectives*, **32**, p. 32-41.