

## Avant-propos

Deux principales structures du paysage peuvent réduire les flux de nitrates dans un bassin versant : les zones humides, les zones arborées. D'autres structures complémentaires (fossés) permettent d'en améliorer l'efficacité.

L'efficacité de ces structures du paysage est très variable en fonction de leur localisation (cf. [fiche n°13](#)) mais aussi en fonction des conditions pédoclimatiques (teneur des sols en matière organique et en eau, température, état de la végétation...) et donc des saisons.

Il est possible de mettre en œuvre différents moyens pour optimiser leur efficacité et de jouer sur la complémentarité des différentes structures.

## Zones humides

### Description :

- Zones humides ripariennes (au bord du cours d'eau) ou sur le versant, dont les sols sont saturés une partie de l'année.
- Plans d'eau libre (tels que mares, étangs, fossés).
- Zones humides artificielles construites (généralement plans d'eau libre). Ce type de ZH n'est pas traité ici, mais on pourra se référer au site [zonestampons.onema.fr](http://zonestampons.onema.fr).

### Processus d'élimination des nitrates :

#### • Dénitrification :

Dans une zone humide, les nitrates sont essentiellement éliminés par dénitrification (voir [fiche n°13](#)). Celle-ci est surtout efficace dans les horizons superficiels du sol lorsque la nappe affleure en surface (absence d'oxygène et présence de matière organique).

#### • Absorption des nitrates :

Lorsque la végétation est active (du printemps à l'automne), les nitrates peuvent être prélevés par les racines et l'azote accumulé dans la biomasse. Si la zone humide est exploitée (fauche de prairie, exportation de cultures), l'azote est en partie exporté ; sinon, il n'est pas vraiment éliminé car il retourne au sol sous forme organique avant d'être minéralisé à nouveau.

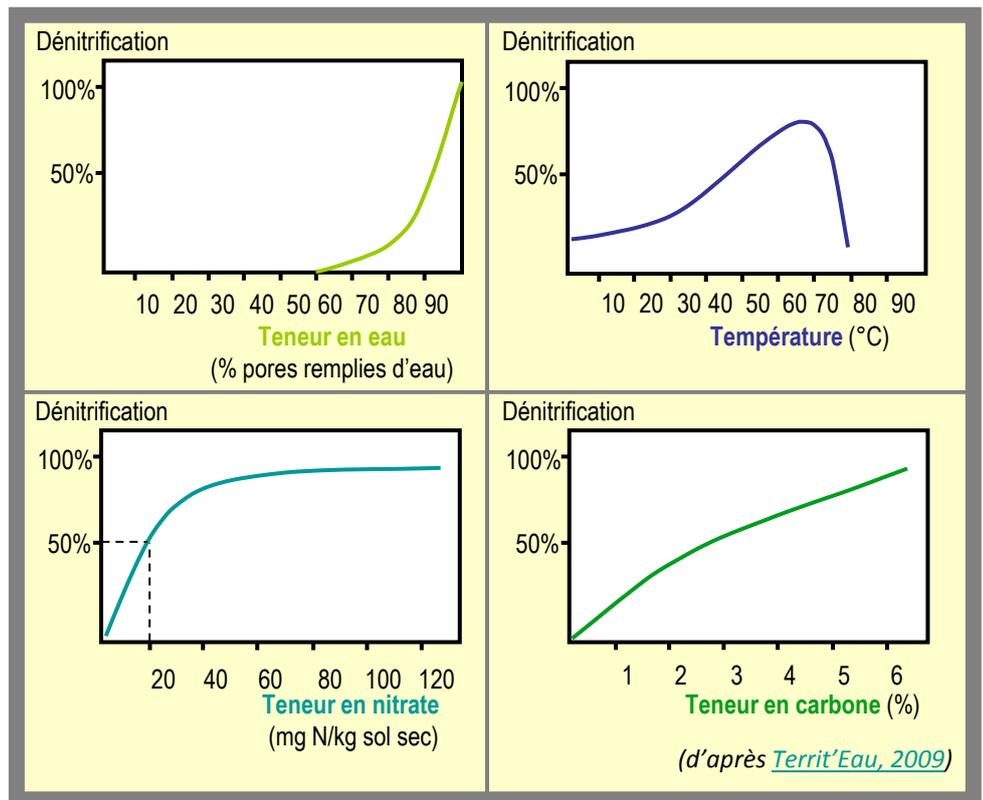
### Conditions favorables à la dénitrification :

#### Conditions biogéochimiques :

- Taux d'oxygène bas (favorisé par la saturation en eau : l'eau remplace l'air dans les pores du sol)
- Température élevée
- Teneur élevée en nitrates
- Teneur élevée en carbone
- pH neutre

#### Conditions hydrologiques :

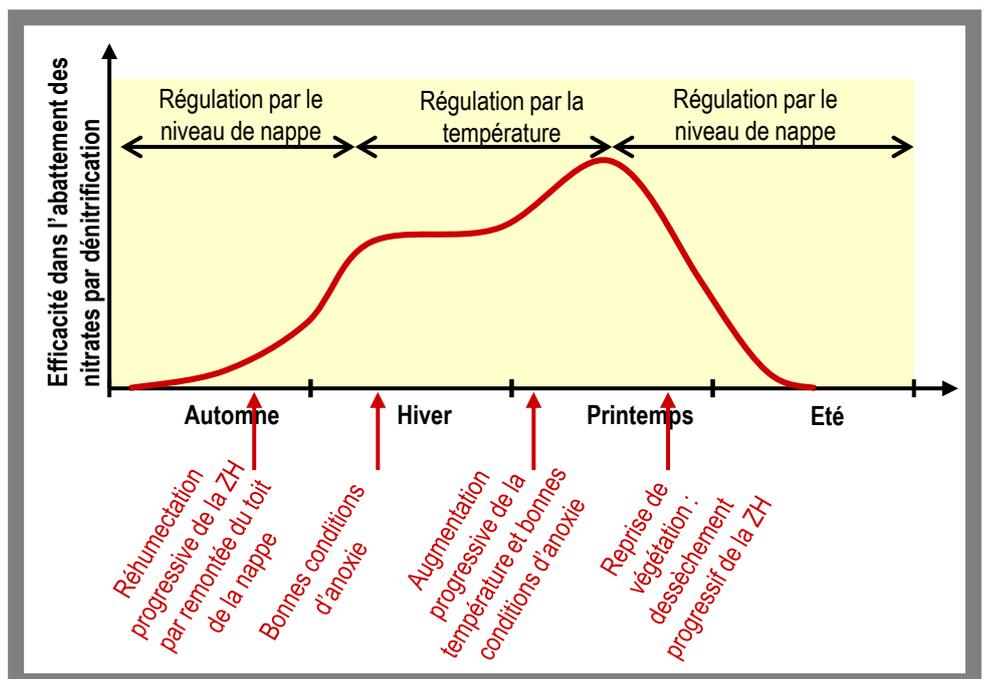
- Saturation durable
- Saturation superficielle
- Temps de résidence supérieur aux vitesses de transfert et des réactions



Les facteurs favorisant la dénitrification ne sont pas toujours réunis au même moment ni au même endroit dans la zone humide. Selon les zones humides, on peut espérer une dénitrification moyenne allant de 30 à 140 kg N/ha/an (Territ'Eau, 2012).

### Saisonnalité de la dénitrification :

L'efficacité de la dénitrification est très variable selon le fonctionnement de la ZH et selon les saisons.

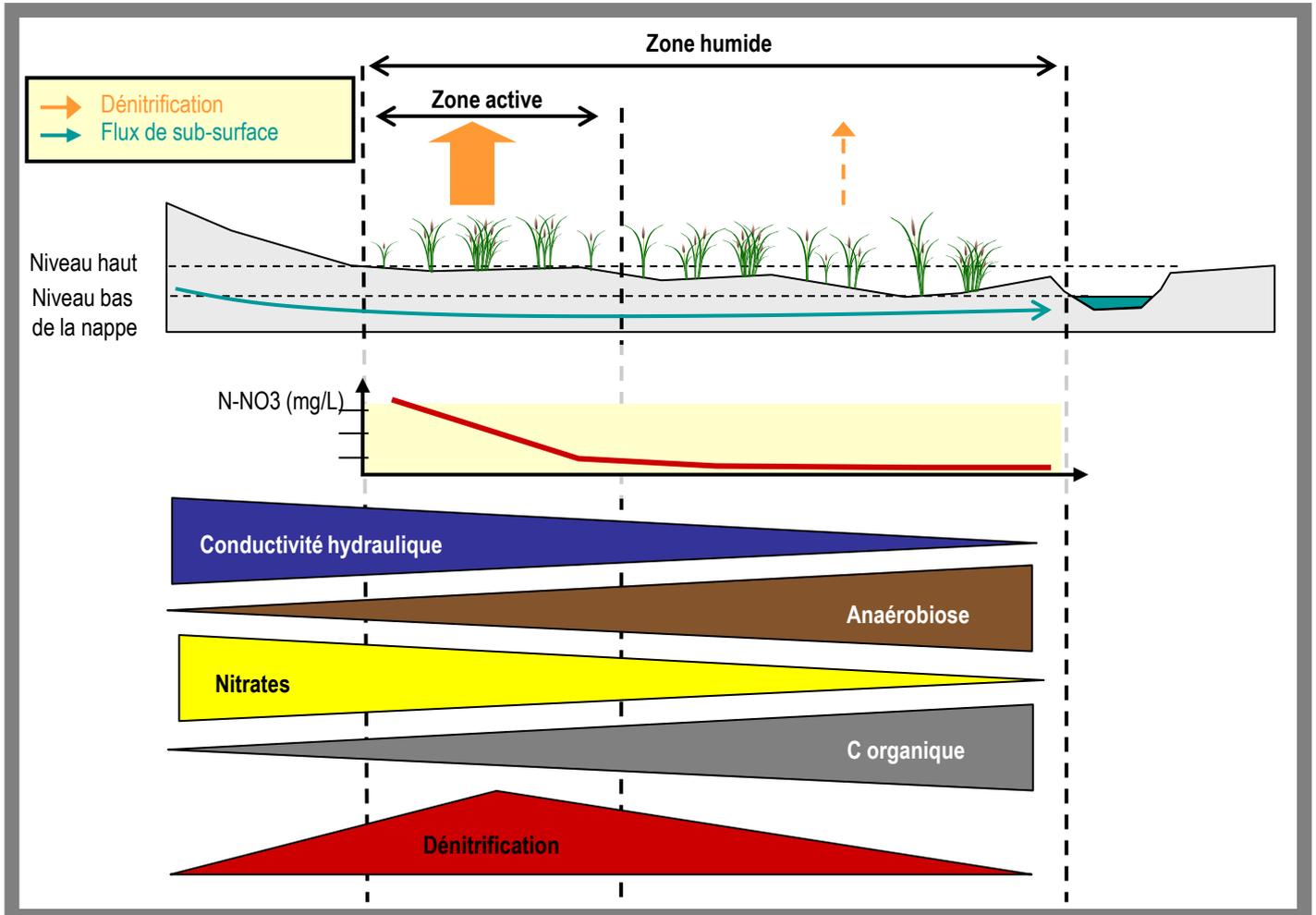


### Optimisation de l'efficacité de la dénitrification :

➤ Quelles sont les situations favorables ?

- Dans la zone humide

La zone la plus active pour la dénitrification se trouve à l'entrée de la zone humide.

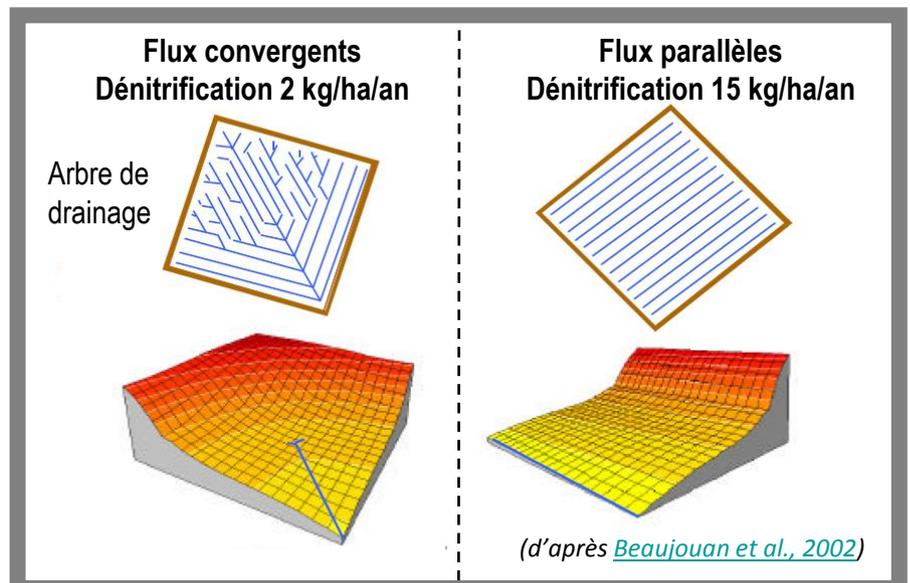


Contrairement aux zones humides artificielles dimensionnées en fonction du flux de nitrates entrant, il est très difficile de préconiser une largeur optimale de zone humide naturelle. Des mesures dans la ZH sont nécessaires.

- Dans le bassin versant

Lorsque les flux dans la nappe sont parallèles, c'est-à-dire qu'ils pénètrent dans la ZH de manière diffuse et bien répartie, la ZH est plus efficace que dans le cas de flux convergents.

En effet, c'est la longueur de l'interface entre le versant et la ZH qui compte, plus que la surface totale de ZH (Clément et al., 2002). Une largeur minimale est toutefois nécessaire pour permettre à la dénitrification de se produire.



## Zones humides (suite)

### • Ordre des bassins versants

Plus l'ordre du bassin versant augmente :

- plus le temps de transfert dans le réseau hydrographique augmente permettant une plus grande efficacité de la dénitrification dans le fond du cours d'eau,
- plus le rôle tampon des zones humides augmente car leur extension par rapport à la surface du versant augmente et car elles sont moins mises en culture ([Montreuil, 2008](#)).

Il existe un fort effet de la saison :

- le rôle tampon des ZH sur les concentrations de nitrates augmente en période d'étiage (basses eaux) à condition que les sols restent saturés superficiellement en eau.
- le rôle tampon des ZH sur les flux de nitrate augmente en période de hautes eaux lorsque les flux entrant dans les ZH augmentent.

Même si le rôle tampon des ZH augmente avec l'ordre des bassins versants il est souvent plus facile d'intervenir pour augmenter leur efficacité dans les bassins versants d'ordre inférieur. Par ailleurs en Bretagne l'immense majorité des cours d'eau sont d'ordre 1 à 3, ce qui justifie de s'intéresser aux ZH qui les bordent.

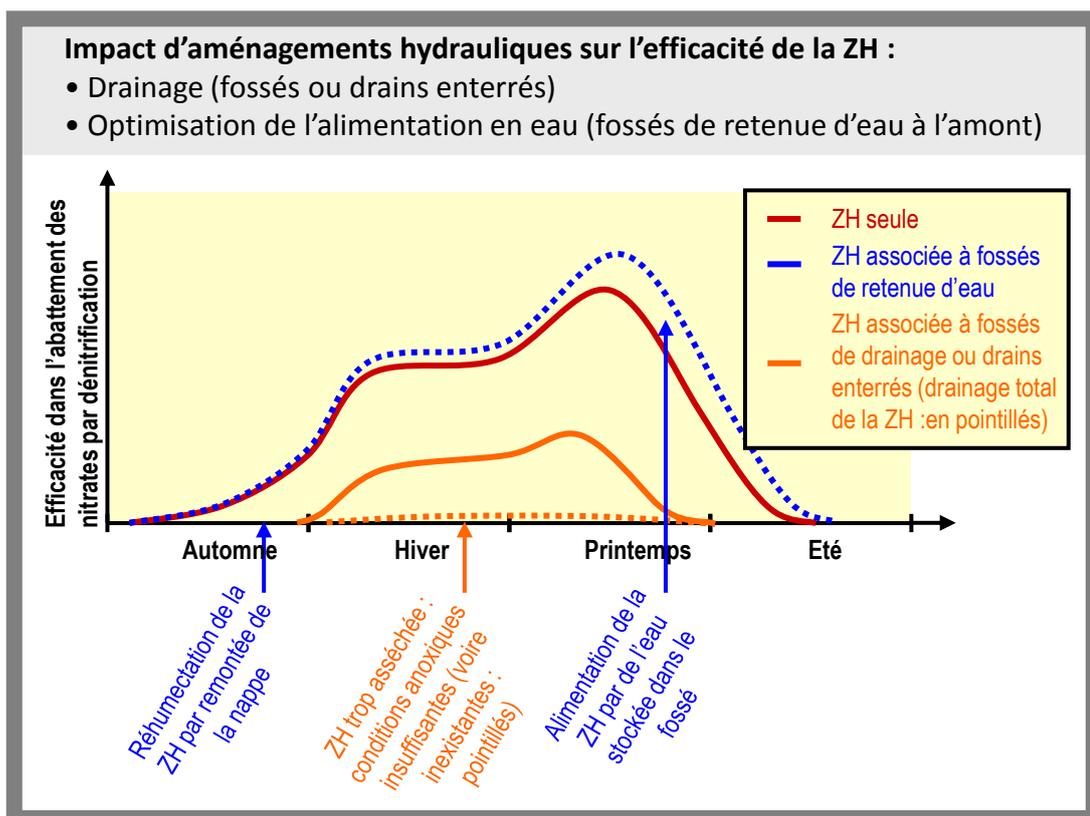
### ➤ Quels sont les aménagements modifiant l'efficacité de la zone humide ?

#### A éviter, car réduisant l'efficacité d'une ZH :

- leur assèchement, en particulier si drainage,
- un écoulement trop rapide (temps de résidence de la nappe trop faible, courts-circuits par fossés ou drains) ou au contraire une stagnation totale (non renouvellement des flux de nitrates).

#### A favoriser, pour améliorer l'efficacité d'une ZH :

- les **aménagements hydrauliques** optimisant l'écoulement de la nappe pour que les flux de nitrates transitent par la ZH (ralentissement de l'écoulement, contrôle du niveau de la nappe pour passage dans les horizons organiques, redistribution en cas de flux convergents, prolongement de la durée de saturation),
- une **gestion de la végétation** (nature et quantité de matière organique restituée, exportation...) favorisant la dénitrification et/ou la sortie d'azote du système.



## Zones humides (suite)

### Autres intérêts ou inconvénients des zones humides :

- Intérêts : caractère patrimonial (conservation d'espèces végétales, animales) des zones humides naturelles. Toutes les ZH naturelles ne sont pas efficaces pour la dénitrification et n'ont pas pour unique vocation la réduction des flux de nitrates.
- Effet négatif majeur : production de  $N_2O$  (puissant gaz à effet de serre) lorsque la dénitrification n'est pas complète (notamment dans des conditions d'anoxie partielle).

## Zones arborées

### Description :

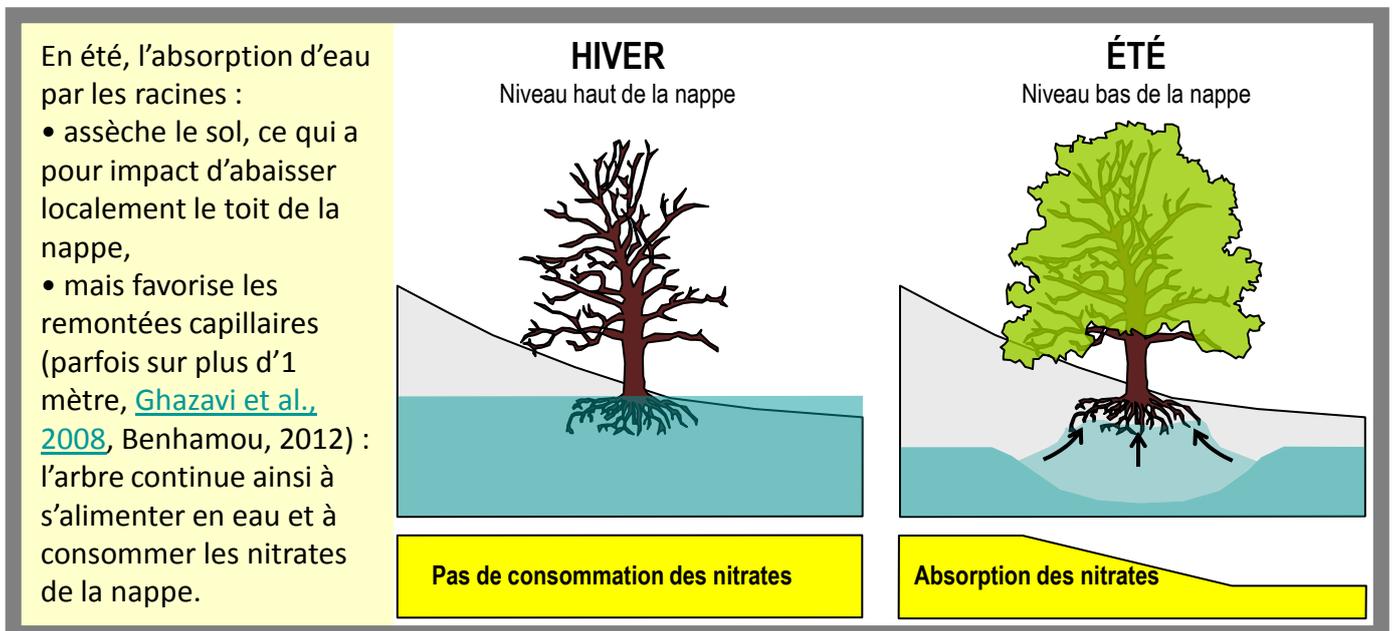
Linéaires ou surfaces arborées, positionnés :

- en bordure du cours d'eau (ripisylves),
- en bas de versant (haies de ceinture de fond de vallée),
- ou dans le versant (haies, ceintures boisées).

### Processus d'élimination des nitrates :

#### • Absorption des nitrates :

Les arbres absorbent les nitrates dans la solution du sol. Leur système racinaire est profond et s'étend latéralement, parfois à plusieurs mètres de distance des troncs. Lorsque les arbres sont associés à des cultures (haies, agroforesterie), leurs racines interceptent les nitrates en excès sous les cultures et évitent leur lixiviation en profondeur vers la nappe. En bas de versant, les arbres peuvent puiser directement les nitrates dans la nappe.



L'azote stocké dans les feuilles n'est pas éliminé : il retourne au sol à l'automne sous forme organique avant d'être minéralisé. L'azote est éliminé du sol lorsqu'il est stocké dans le bois des arbres en croissance ou exporté par la taille des arbres.

L'absorption des nitrates dépend de multiples facteurs :

- le type d'arbres, leur âge et leur entretien (la taille commence par réduire la capacité d'absorption),
- leur activité physiologique (disponibilité de l'eau ou stress hydrique, saison...),
- la disponibilité des nutriments (proximité des cultures fertilisées, compétition entre les arbres).

## Zones arborées (suite)

A l'échelle du bassin versant, l'abattement des nitrates par absorption par les zones arborées est encore mal connu, il dépend de multiples facteurs.

Par modélisation sur le bassin de Kervidy-Naizin (ORE Agrhys), Benhamou (2012) montre qu'une densité de linéaire de haies de 140 m/ha permettrait en moyenne de réduire les flux de nitrates à l'exutoire de 9,2 %, contre seulement 3,6 % avec les 48 m/ha actuels. L'augmentation de la densité de haies permet un abattement des nitrates :

grâce à :

- un stockage d'azote dans le bois,
- une diminution de la minéralisation nette d'azote dans le sol,
- une diminution des intrants associée à une réduction des surfaces agricoles productives,
- une réduction des flux hydriques à l'exutoire du fait de la consommation d'eau par les arbres,

et malgré :

- une diminution de la dénitrification dans les zones humides,
- et une diminution de l'exportation d'azote par les cultures.

Une expérimentation visant l'épuration d'effluents et de boues de stations par des saules plantés en bordure du cours d'eau et exploités en taillis à très courte rotation (programme [Wilwater, 2007](#)) a permis d'estimer l'exportation d'azote par les arbres de l'ordre de 30 à 100 kg N/ha/an.

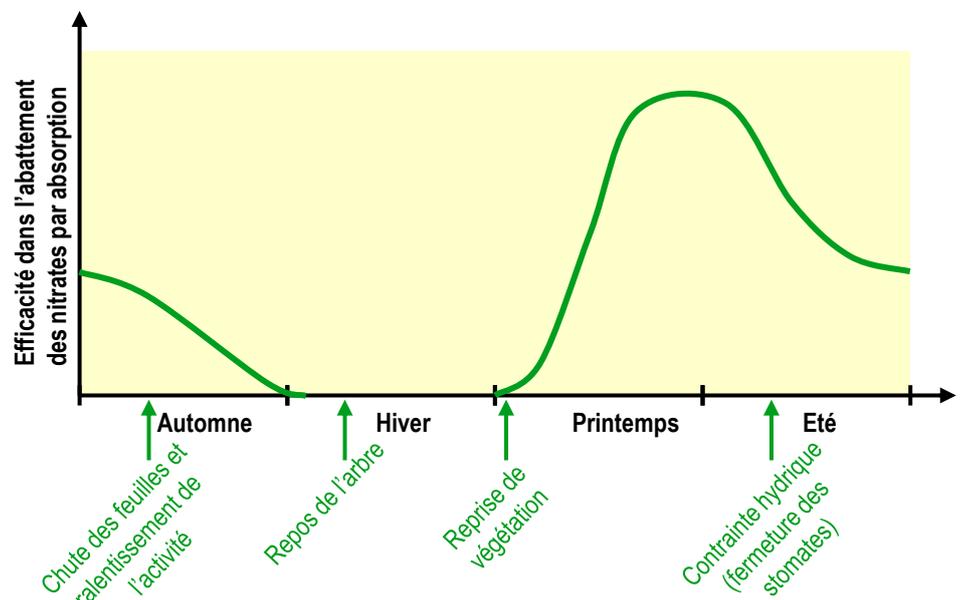
### • Dénitrification :

En bas de versant, il n'est pas évident de prédire dans quel sens la présence des arbres modifie l'efficacité de la dénitrification (Benhamou, 2012). D'un côté elle est favorisée par la restitution de matière organique, et d'un autre côté elle peut être limitée par l'abaissement de la nappe liée à la transpiration des arbres.

### Saisonnalité de l'absorption :

L'efficacité de l'absorption des nitrates varie au cours de l'année.

A noter que les périodes d'efficacité sont décalées par rapport à celles d'une zone humide (élimination par dénitrification).



### Autres intérêts ou inconvénients des zones arborées :

Intérêts :

- la partie aérienne des arbres piège et absorbe du  $\text{NH}_3$  gazeux, issu de l'élevage ([Peyraud, Cellier et al., 2012](#) ; voir [fiches 1 à 3](#) sur les élevages).
- la présence de zones arborées favorise la biodiversité.
- les zones arborées permettent de lutter contre l'érosion des sols et le ruissellement transportant des polluants (phosphore, pesticides).
- Enfin, elles présentent une valeur esthétique et patrimoniale, et potentiellement économique (saulaie).

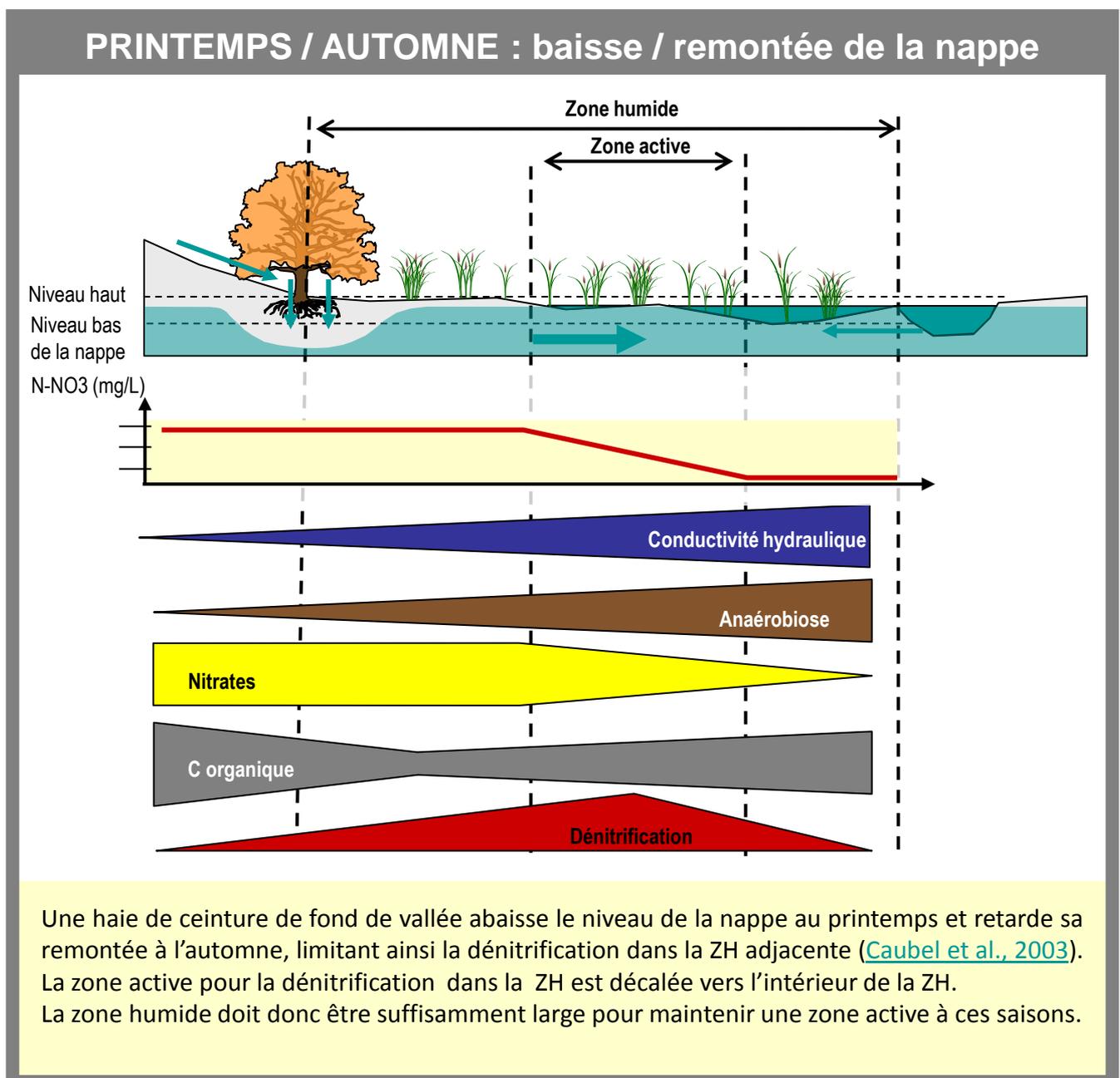
## Zones arborées (suite)

### Inconvénients :

- Les arbres à proximité d'une ZH abaissent le niveau de la nappe (Caubel et al., 2003). Voir ci-dessous comment raisonner l'influence d'une haie de ceinture de fond de vallée par rapport à la largeur totale de la ZH associée.
- Les arbres à proximité d'une culture sont généralement en compétition avec celle-ci pour l'eau, les nutriments et la lumière, malgré des systèmes racinaires pouvant être complémentaires. La compétition est moins forte en bas de versant pour l'eau et l'azote rendus plus disponibles par la proximité de la nappe (Benhamou, 2012).

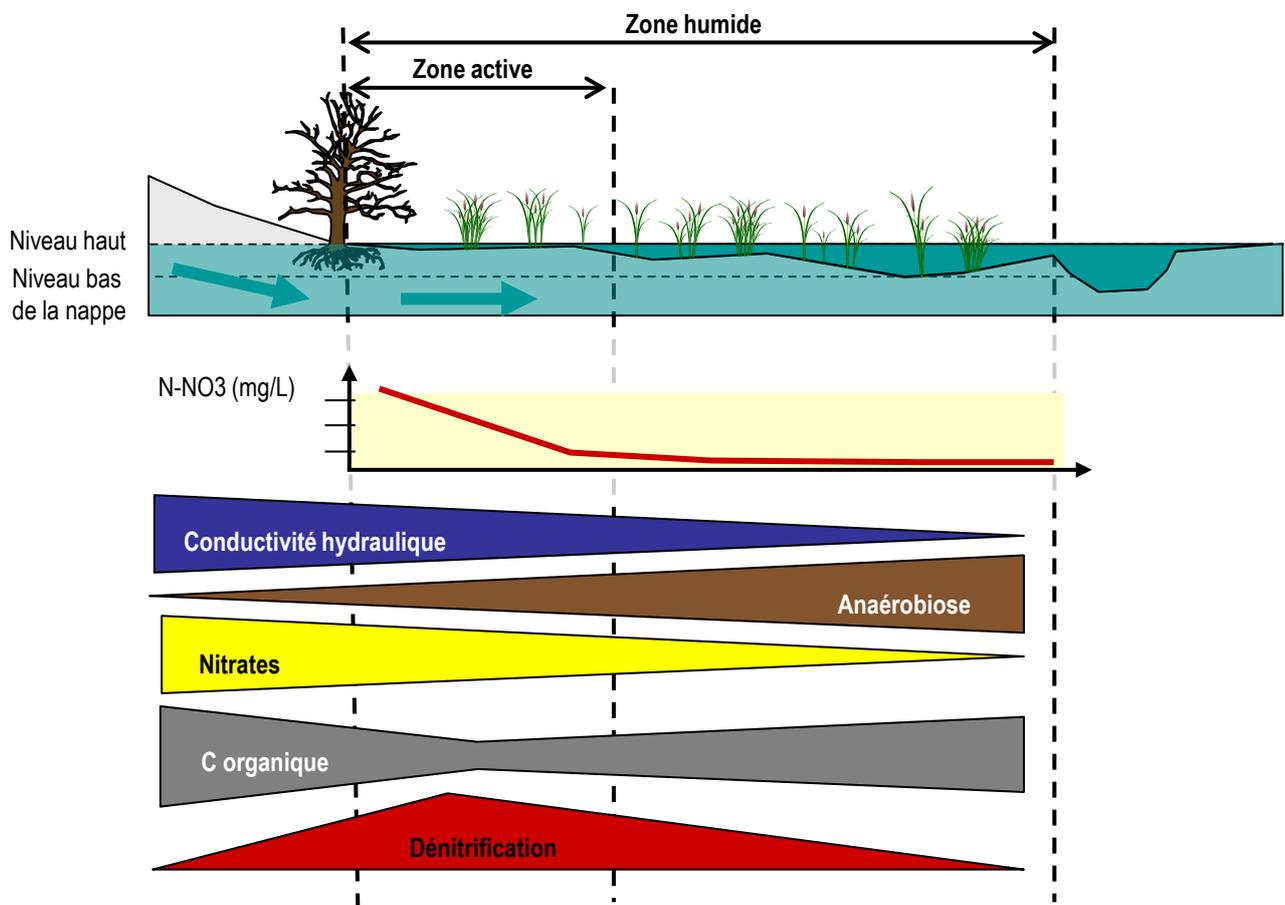
## Complémentarité de structures du paysage

### Cas d'une zone humide associée à une ceinture de fond de vallée



## Complémentarité de structures du paysage (suite)

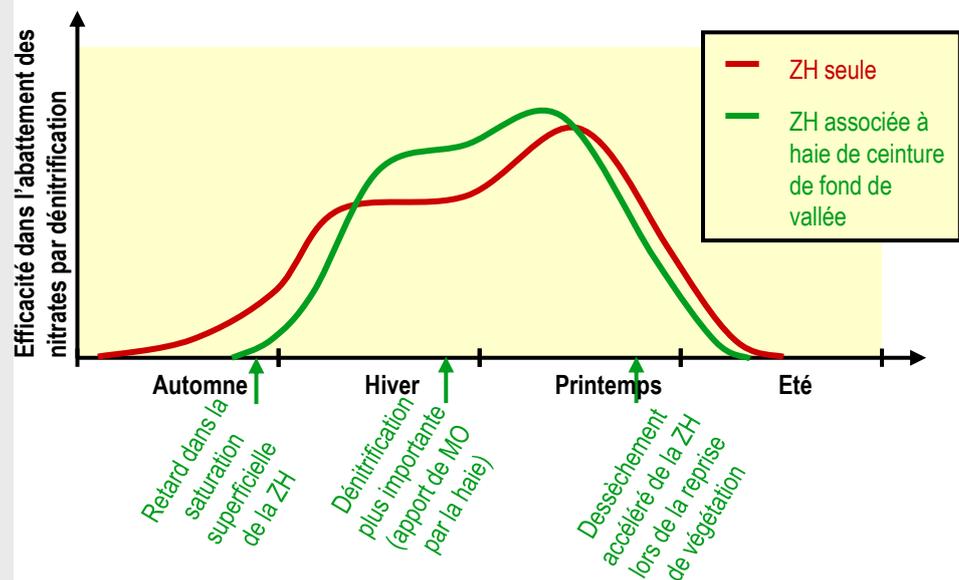
### HIVER : zone humide totalement saturée en eau



En hiver, toute la ZH est saturée en eau. La zone active pour la dénitrification de la ZH se rapproche de la haie, d'autant que le sol y est enrichi en matière organique (restitution par la chute des feuilles, rétention en amont de la haie des particules organiques arrêtées avec le ruissellement). La température devient le facteur limitant.

#### Variations saisonnières de l'efficacité d'une zone humide associée à une haie de ceinture de fond de vallée.

Il est difficile de prévoir si l'effet de la haie est positif sur le bilan annuel de la dénitrification par la zone humide.



### Des structures complémentaires pour améliorer le fonctionnement des zones humides et zones arborées

D'autres structures, combinées aux zones humides ou aux zones arborées, peuvent en améliorer l'efficacité, contribuent à la rétention des nitrates ou limitent leur transfert rapide vers le cours d'eau.

#### Fossés :

Les fossés placés perpendiculairement à la pente permettent :

- d'intercepter des écoulements rapides d'eau de surface ou de sub-surface,
- de les stocker et de les restituer au sol progressivement,
- de rediriger les flux de nitrates vers des zones épuratrices,
- et de dénitrifier si les conditions nécessaires à la dénitrification y sont réunies.

Ils peuvent être enherbés, ce qui ralentit d'autant plus les écoulements et apporte de la matière organique favorisant la dénitrification.

Exemples d'utilisation :

- Fossé placé en amont d'une zone humide pour en améliorer l'efficacité : le fossé ralentit l'écoulement de sub-surface à l'entrée de la ZH, stocke l'eau et la restitue progressivement pour augmenter son temps de résidence dans la ZH et prolonger la durée de saturation en eau propice à la dénitrification.
- Fossé interceptant des écoulements rapides et empêchant leur transfert direct dans le cours d'eau: le fossé peut servir de lieu de dénitrification et/ou ralentir et réorienter les flux vers une autre zone épuratrice (par exemple une zone humide ou une saulaie). En particulier, ce type de fossé peut être placé en sortie de drains.

#### Talus, Bandes enherbées

Les talus peuvent être mobilisés dans les cas particuliers de ruissellement chargé en nitrates décrits à la fin de la [fiche 13](#). Ils constituent des obstacles à l'écoulement de surface et favorisent l'infiltration vers l'écoulement de sub-surface. Ils peuvent être plantés d'arbres, ce qui accentue ce rôle.

*Noter que seuls les fossés décrits ci-dessus peuvent avoir un effet positif sur l'abattement des nitrates. Les fossés de drainage ou ceux qui accélèrent les transferts de nitrates vers le cours d'eau ont un effet négatif. Par ailleurs les bandes enherbées qui réduisent le ruissellement ne sont efficaces que dans des situations exceptionnelles d'émission localisée de nitrates à la surface du sol puisque les nitrates transitent essentiellement par la nappe. Mais elles s'apparentent parfois à des prairies, dont le produit de la fauche peut être exporté.*

## Pour aller plus loin...

- Grimaldi C., Pinay G., Baudry J. (2012) *Une gestion à l'échelle des paysages : exemple des zones tampons (ripisylves, zones humides, bandes enherbées)*. Carrefours de l'innovation agronomique (INRA), colloque « Eaux et milieux aquatiques continentaux : comprendre et observer pour gérer et restaurer les écosystèmes », 2 octobre 2012 (Rennes). [Lien](#)
- Territ'EAU (2009) *Influence des éléments du paysage sur les transferts de l'eau et des polluants associés dans un bassin versant sur socle : Bilan des connaissances applicables dans le contexte pédoclimatique breton*. AgroTransfert Bretagne. [Partie 1](#) - [Partie 2](#)
- CSEB (2008) *Pour la compréhension des bassins versants et le suivi de la qualité de l'eau : recueil de fiches techniques & scientifiques* (Tome 1, 2005 et Tome 2, 2008). 325 pages. [Lien](#)

**A consulter également** : les fiches de l'[ONEMA](#) sur les différentes structures du paysage et le site du [Groupe Technique Zones Tampon](#).

### Autres références citées :

- Beaujouan V., Durand P., Ruiz L., Arousseau P., Cotteret G. (2002) *A hydrological model dedicated to topography-based simulation of nitrogen transfer and transformation: rationale and application to the geomorphology-denitrification relationship*. Hydrological Processes, 16 : 493–507. [Lien](#)
- Benhamou C. (2012) *Modélisation de l'effet des interactions haies-cultures sur les transferts d'eau et d'azote à l'échelle d'un petit bassin versant agricole*. Thèse de Doctorat, Agrocampus Ouest (Rennes). 194 pages.
- Caubel V., Grimaldi C., Mérot P., Grimaldi M. (2003) *Influence of a hedge surrounding bottomland on seasonal soil-water movement*. Hydrological Processes, 17 : 1811–1821. [Lien](#)
- Clément J.-C., Pinay G., Marmonier P. (2002) *Seasonal dynamics of denitrification along topohydrosequences in three different riparian wetlands*. Journal of Environmental Quality, 31:1025–1037.
- Ghazavi G., Thomas Z., Hamon Y., Marie J. C., Corson M., Merot P. (2008) *Hedgerow impacts on soil-water transfer due to rainfall interception and root-water uptake*. Hydrological Processes, 22 : 4723–4735. [Lien](#)
- Oehler F., Bordenave P., Durand P. (2007) *Variations of denitrification in a farming catchment area*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 120 : 313–324.
- Montreuil O. (2008) *Relation entre l'ordre des bassins versants, l'organisation spatiale et le fonctionnement hydrologique et hydrochimique des zones humides riveraines*. Thèse de Doctorat, Agrocampus Ouest (Rennes), 230 pages. [Lien](#)
- Peyraud J.-L., P. Cellier, (coord.) (2012) *Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres*. Expertise scientifique collective, rapport, INRA (France), 527 pages. [Lien](#)



**Rédaction** : Pascaline MOREAU (AGROCAMPUS OUEST)

**Encadrement du projet** : Matthieu CAROF (AGROCAMPUS OUEST), Catherine GRIMALDI (INRA), Virginie PARNAUDEAU (INRA)

**Validation scientifique** : Catherine GRIMALDI (INRA), Chantal GASCUEL-ODOUX (INRA)

*Ces fiches ont été réalisées avec le soutien financier de la Région Bretagne*