

FONCTIONNEMENT DES ZONES HUMIDES



Armel Dausse

FORUM DES MARAIS ATLANTIQUES, ANTENNE DE BREST

22 novembre 2021 – Saint Méen-le-Grand

- Principales fonctions d'une zone humide
- Le fonctionnement hydrologique
- Le fonctionnement biogéochimique
 - Les processus principaux d'abattement de l'azote
 - L'assimilation
 - La dénitrification
 - Complémentarité assimilation/dénitrification
 - Eléments d'influence du cycle de l'azote
- Atténuation des flux d'azote dans le bassin versant: Les zones tampon humides artificielles

FONCTIONS DES ZONES HUMIDES

RAPPELS

FONCTIONS DES ZONES HUMIDES ET SERVICES RENDUS

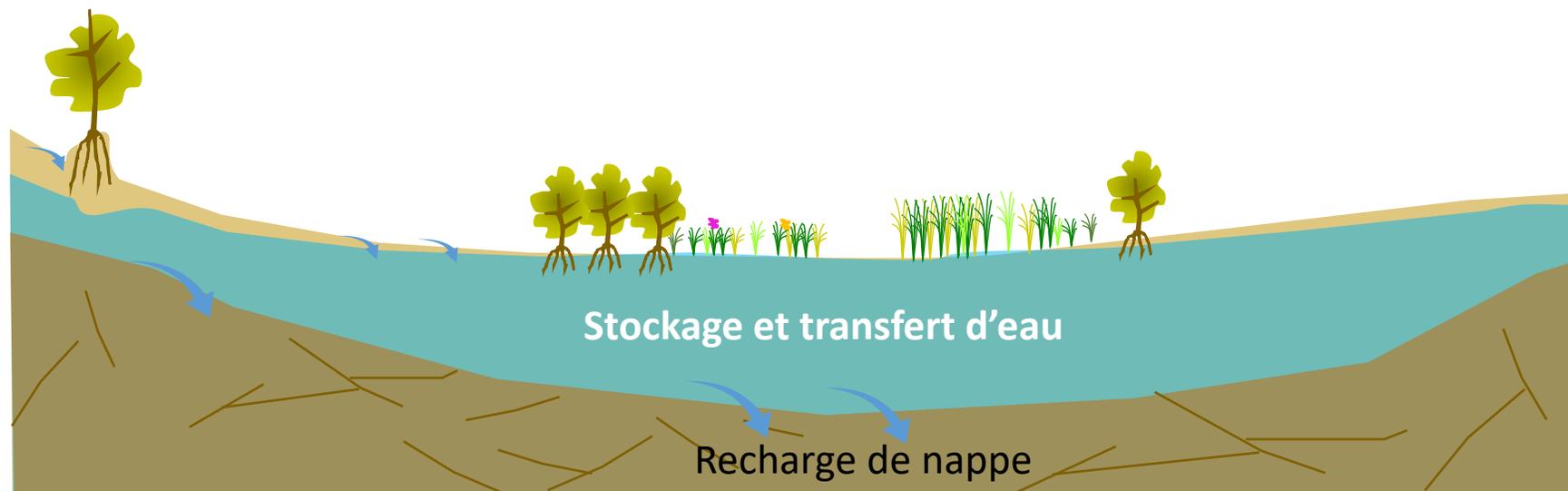
FONCTIONS HYDROLOGIQUES

- Stockage et transfert d'eau



& Recharge de nappe pour certaines ZH, notamment :

- Marais
- Plans d'eau
- Dépressions humides



FONCTIONS DES ZONES HUMIDES ET SERVICES RENDUS

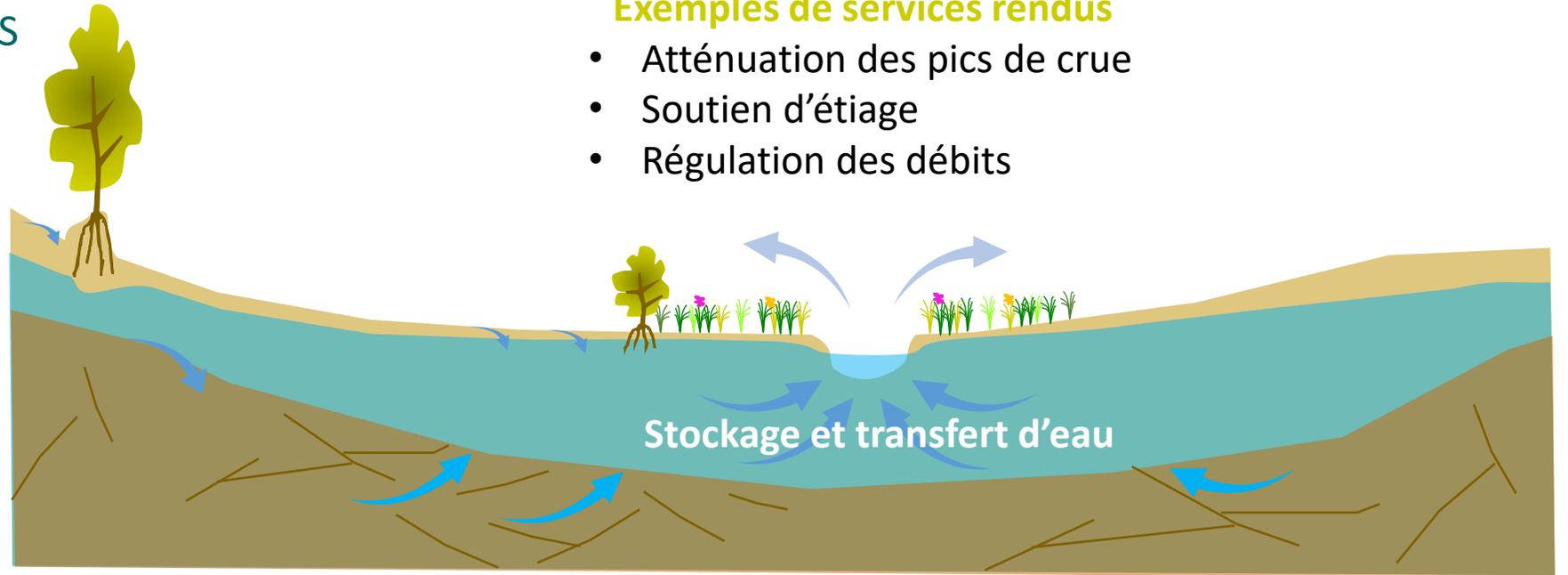
FONCTIONS HYDROLOGIQUES

- Stockage et transfert d'eau

Partie 1 de la journée

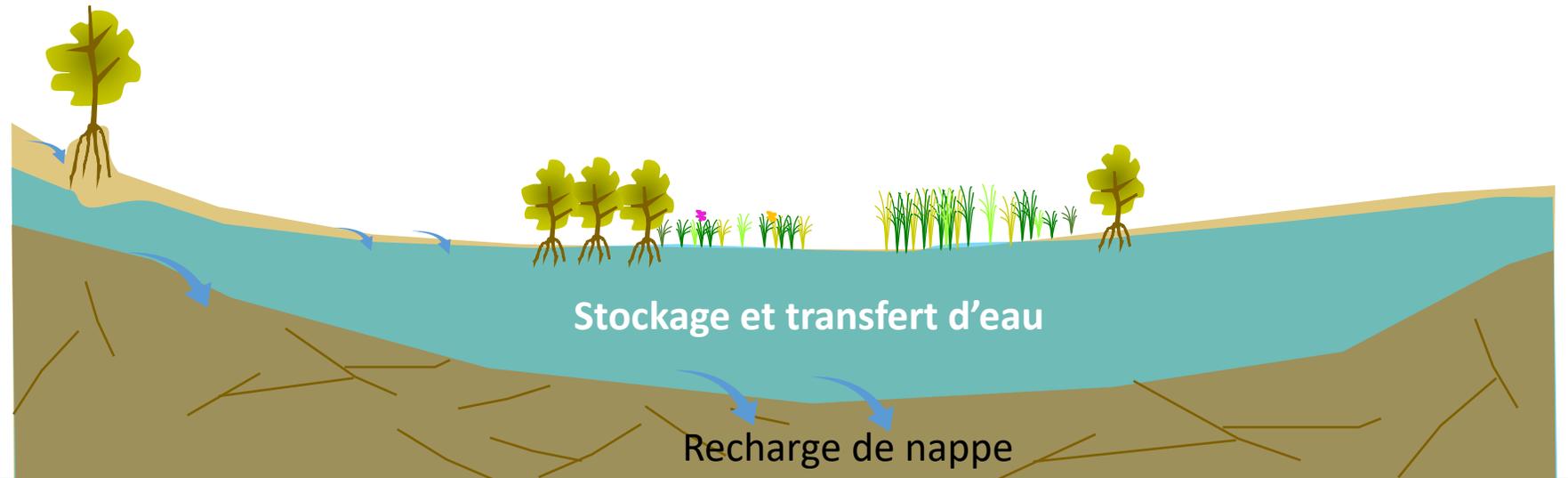
Exemples de services rendus

- Atténuation des pics de crue
- Soutien d'étiage
- Régulation des débits



& Recharge de nappe pour certaines ZH, notamment :

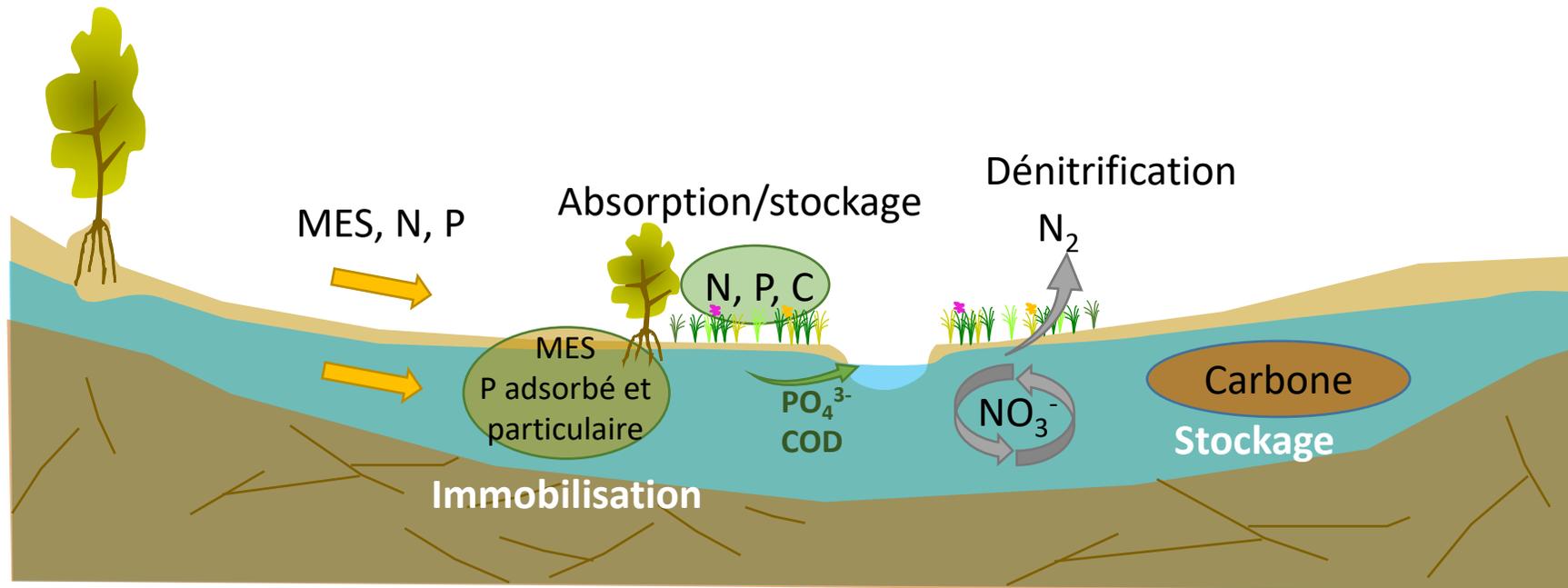
- Marais
- Plans d'eau
- Dépressions humides



FONCTIONS BIOGÉOCHIMIQUE

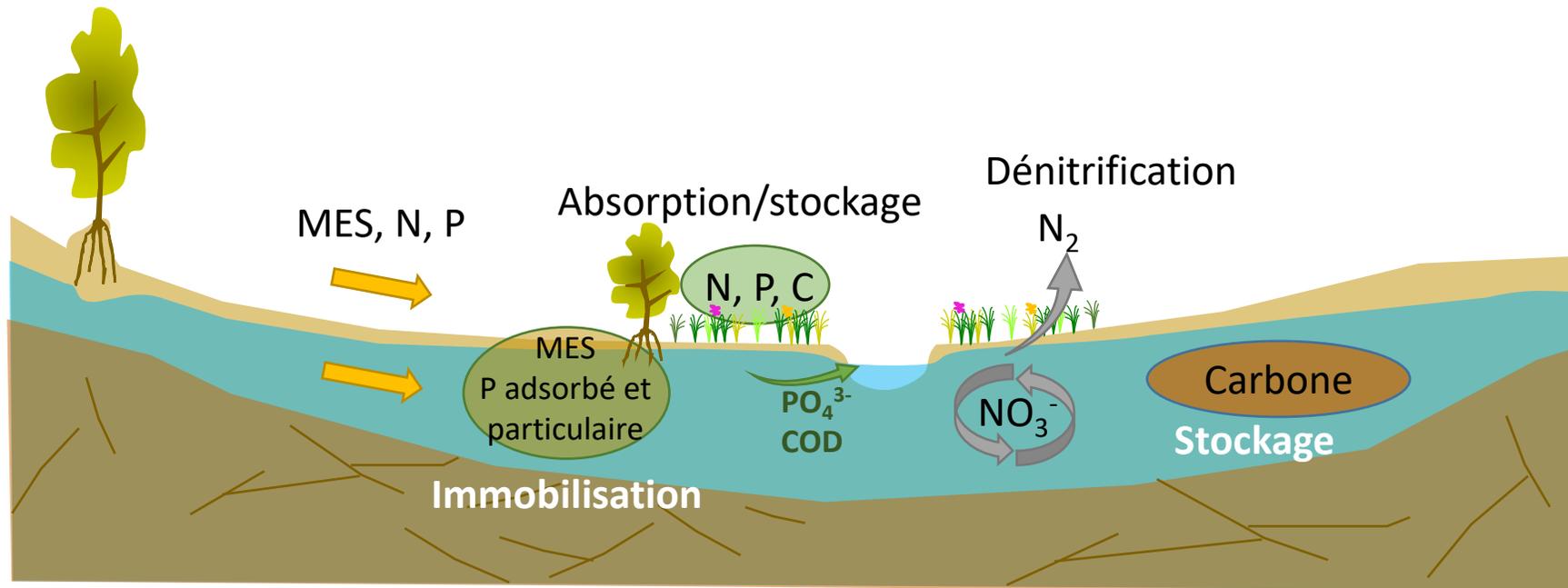
Exemple de service rendu

- Amélioration de la qualité de l'eau
- Atténuation du changement climatique



FONCTIONS BIOGÉOCHIMIQUE

Partie 2 de la journée
→ focus sur le cycle de l'azote



Exemple de service rendu

- Amélioration de la qualité de l'eau
- Atténuation du changement climatique

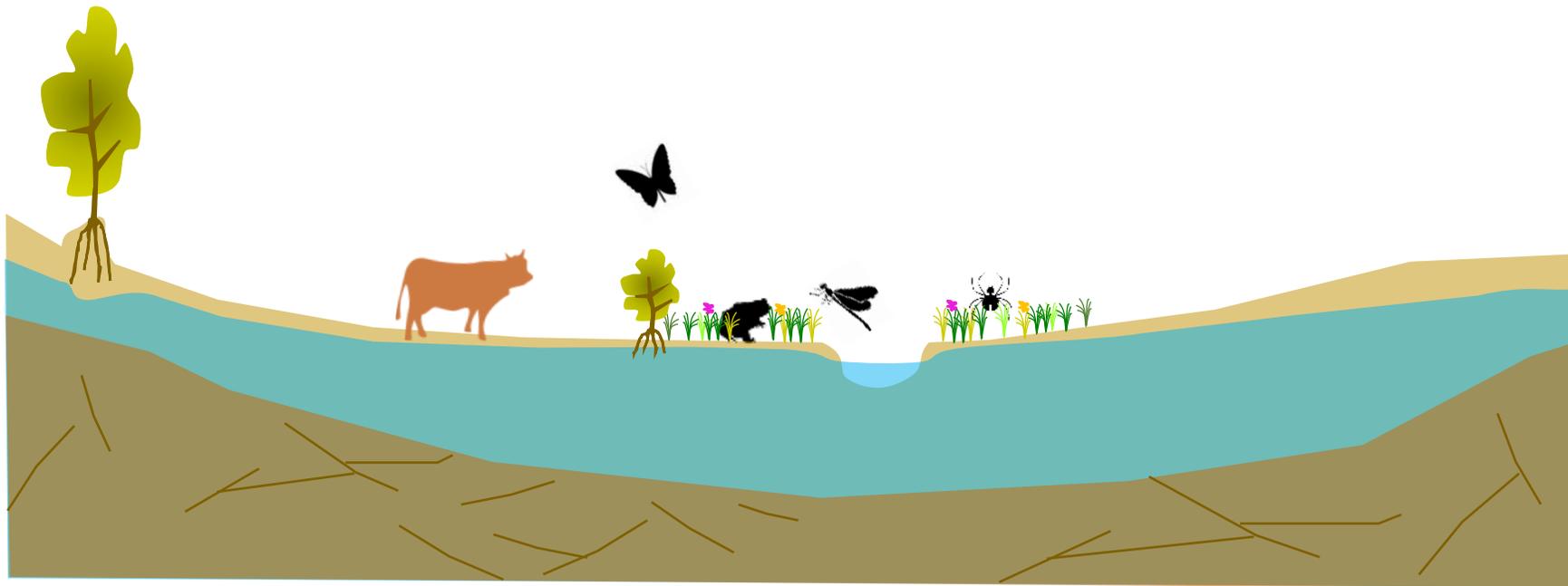
FONCTIONS DES ZONES HUMIDES ET SERVICES RENDUS

FONCTIONS BIOLOGIQUES

- Support de biodiversité
- Continuité écologique

Exemple de service rendu

- Maintien de la biodiversité

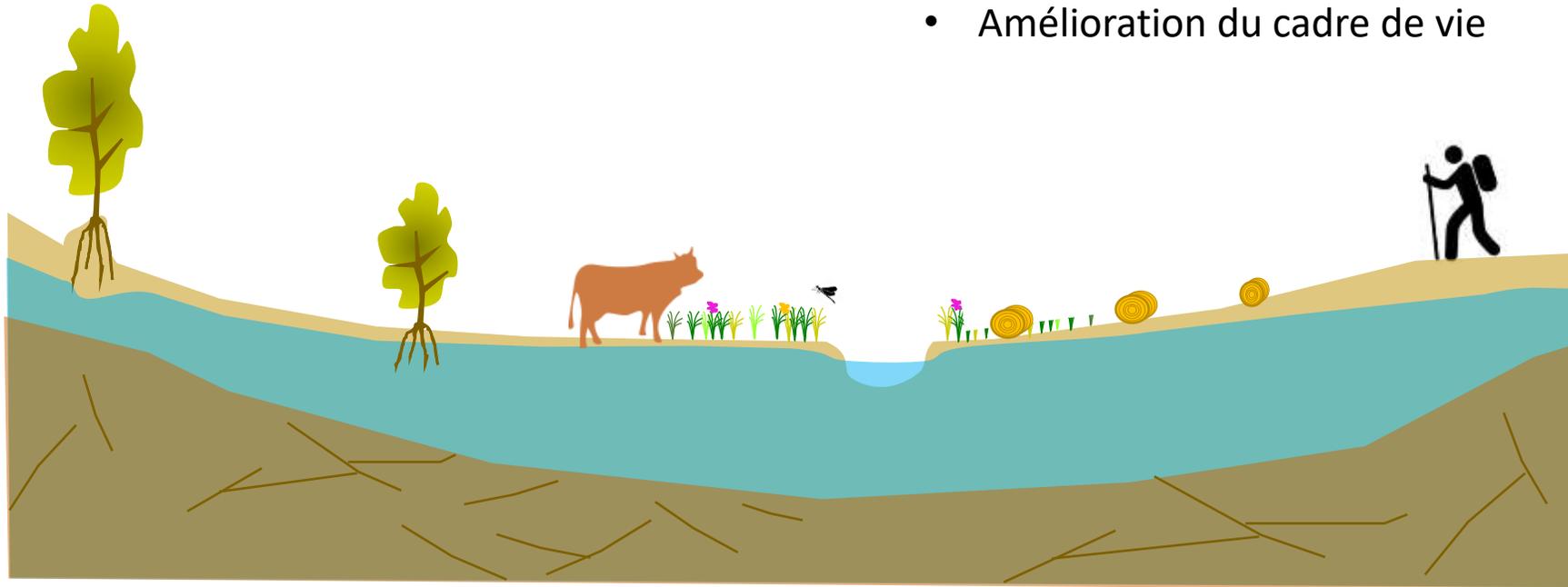


FONCTIONS ÉCONOMIQUES ET CULTURELLES

- Production de biomasse (fourrage et matériaux)
- Fonctions esthétiques et éducatives

Exemples de services rendus

- Approvisionnement en fourrage
- Support d'auxiliaires de cultures
- Support de loisirs
- Bien-être
- Amélioration du cadre de vie



FONCTIONS DES ZONES HUMIDES ET SERVICES RENDUS

Récapitulatif des fonctions des zones humides et services rendus

Tableau 2 - Fonctions biologiques, hydrologiques et biogéochimiques des milieux humides rencontrés en Bretagne selon la typologie hydrogéomorphologique et la typologie du SDAGE.

Typologies		Fonctions et Services Rendus							
		Bio-logiques	Hydrologiques			Bio-géochimique			
		Support de biodiversité	Régulation des inondations	Protection contre les intrusions marines	Soutien d'étiage, recharge de nappe	Ralentissement des écoulements et dissipation des forces érosives	Régulation des nutriments	Stockage du carbone	
Forte connectivité au cours d'eau	Estuarien et côtier	1. Grands estuaires							
		2. Baies et estuaires moyens plats							
		3. Marais et lagunes côtiers							
		4. Marais saumâtres aménagés							
	Alluvial	5. Bordure de cours d'eau (ripisylve)							
		6. Plaines alluviales							
Versant et bas de versant	7. Zones humides de bas fonds en tête de bassin	ZH patrimoniales*							
		ZH ordinaires							
Connectivité au cours d'eau moins marqué (sauf plans d'eau sur cours d'eau)	Dépressionnaire	8. Régions d'étangs							
		Etangs déconnectés du cours d'eau							
	Etangs sur cours d'eau								
	11. Zones humides ponctuelles (mares et étangs isolés)								
	Riverain des étendues d'eau	9. Plans d'eau et leurs bordures							
	Plateau et plaine	10. Marais et landes humides de plaine et plateau	Marais						
			Prairies humides						
12. Marais aménagés dans un but agricole									
Aucune	13. Zones humides artificielles (carrières)								

Tableau adapté de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranées-Corse (2007) et de l'agence de l'eau Loire-Bretagne (2002)

*landes humides, tourbières, prairies ou marais oligotrophes

FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE

NOTIONS DE BASE

Présentation Alain Crave, UMR CNRS/Université de Rennes 1 Géosciences

FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

FOCUS SUR LE CYCLE DE L'AZOTE

OBJECTIFS DE LA FORMATION

Comprendre:

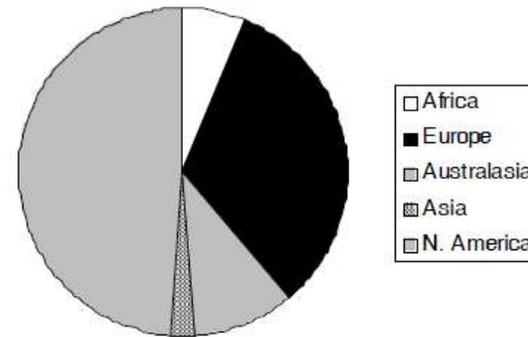
- le fonctionnement du cycle de l'N dans les zones humides
- les processus à la base de l'abattement d'N et leur ampleur
- les facteurs influençant ces processus
- les effets antagonistes possibles

INTRODUCTION

La majorité des zones humides régule les flux d'azote

Etude de 54 zones humides
étudiées à travers le monde:

	<u>Azote total</u>	
	Nb Zones humides	% Zones humides
Retention	43	80
Restitution	7	13
Bilan nul	4	7



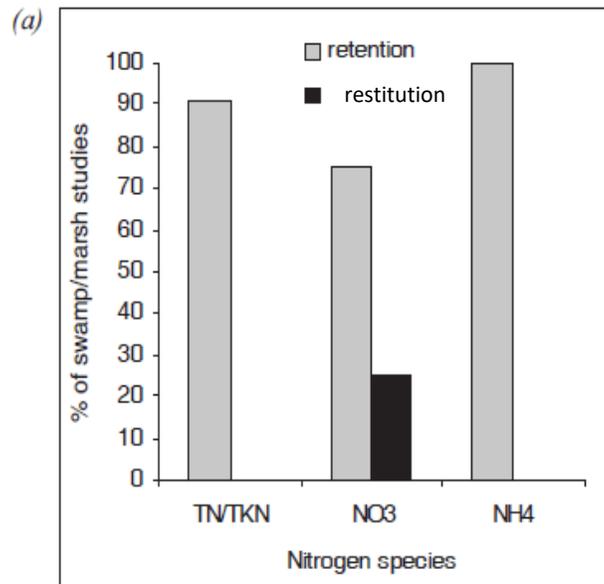
J. Fisher and M.C. Acreman Hydrology and Earth System Sciences, 8(4), 673–685 (2004)

INTRODUCTION

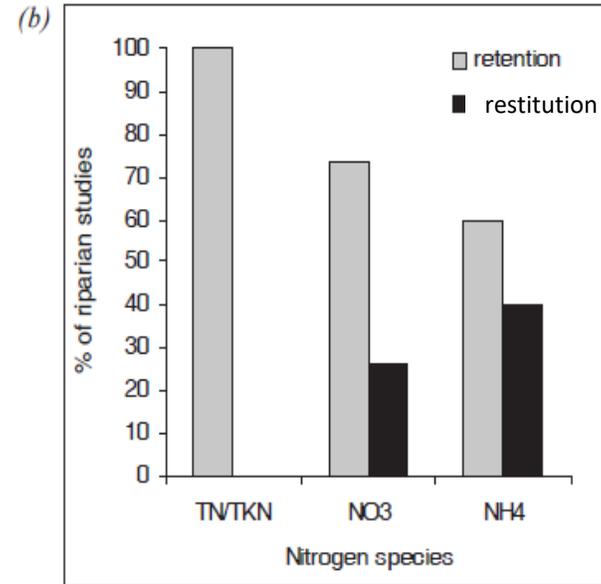
La majorité des zones humides régule les flux d'azote

- Toutes n'ont pas la même capacité à abattre l'azote

Marais/marécages



Zones ripariennes



TN/TKN: azote total/azote Kjeldhal

Pourcentage de zones humides dans lesquelles on observe un abattement de N, en fonction du contexte hydro-géomorphologique

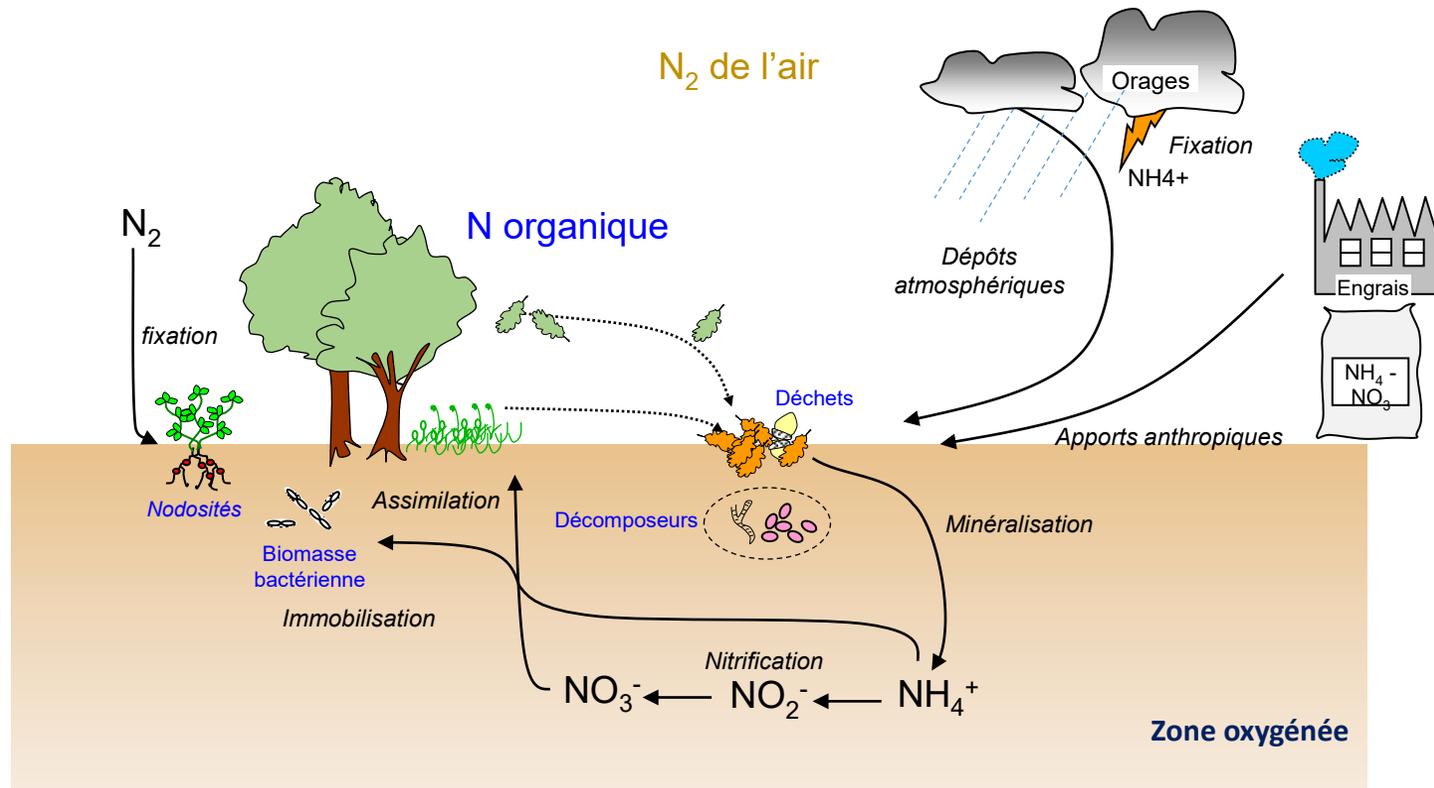
INTRODUCTION

La majorité des zones humides régule les flux d'azote

- ➡ Comment ?
- ➡ Quelle quantité ?
- ➡ Sous quelles conditions ?

LE CYCLE DE L'AZOTE

LE CYCLE DE L'AZOTE SIMPLIFIÉ

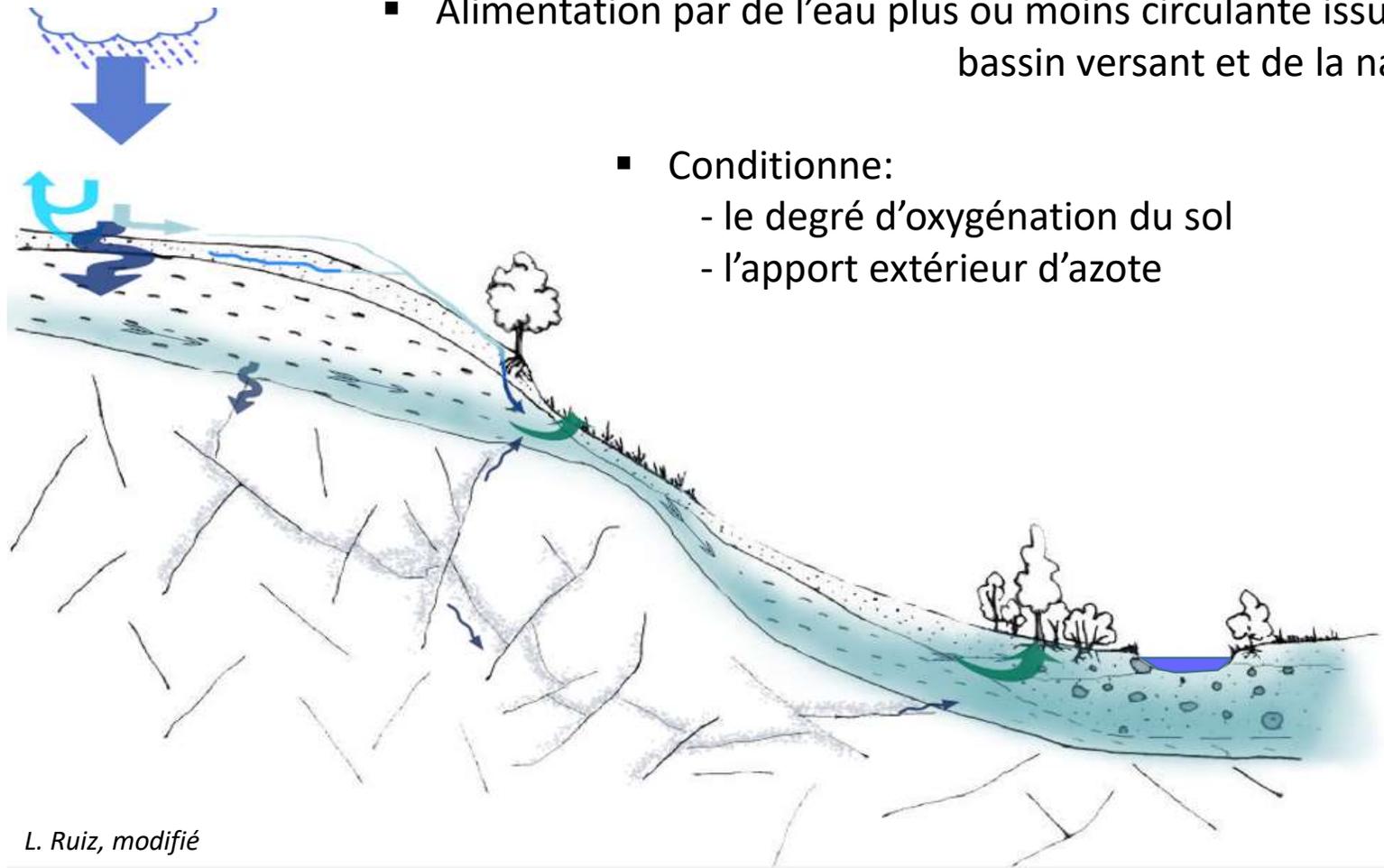


LE CYCLE DE L'AZOTE SIMPLIFIÉ

- **En zone humide : Apports d'azote lié à l'alimentation en eau**

- Alimentation par de l'eau plus ou moins circulante issue du bassin versant et de la nappe

- Conditionne:
 - le degré d'oxygénation du sol
 - l'apport extérieur d'azote

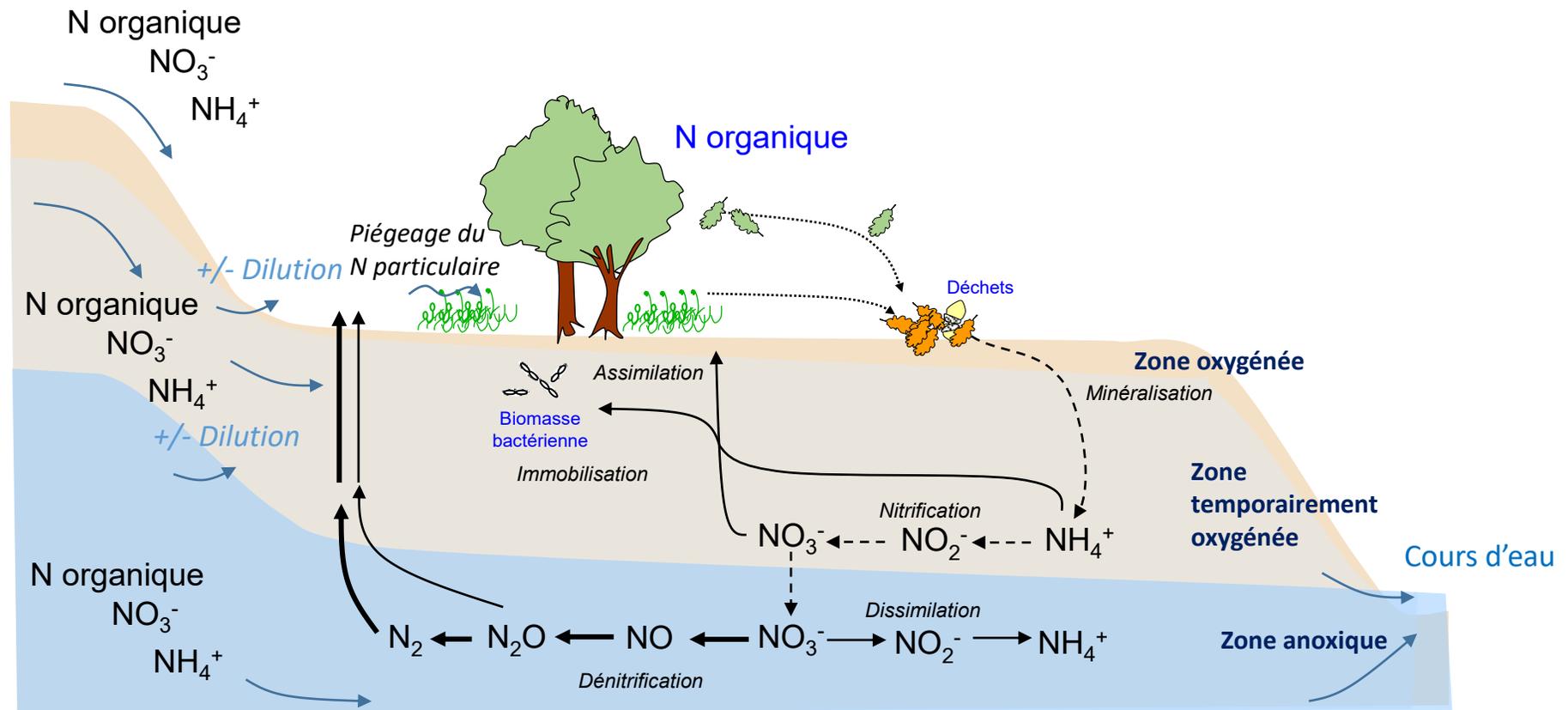


L. Ruiz, modifié

LE CYCLE DE L'AZOTE

LE CYCLE DE L'AZOTE SIMPLIFIÉ

- En zone humide : Apports d'azote liés à l'alimentation en eau
Processus anoxiques

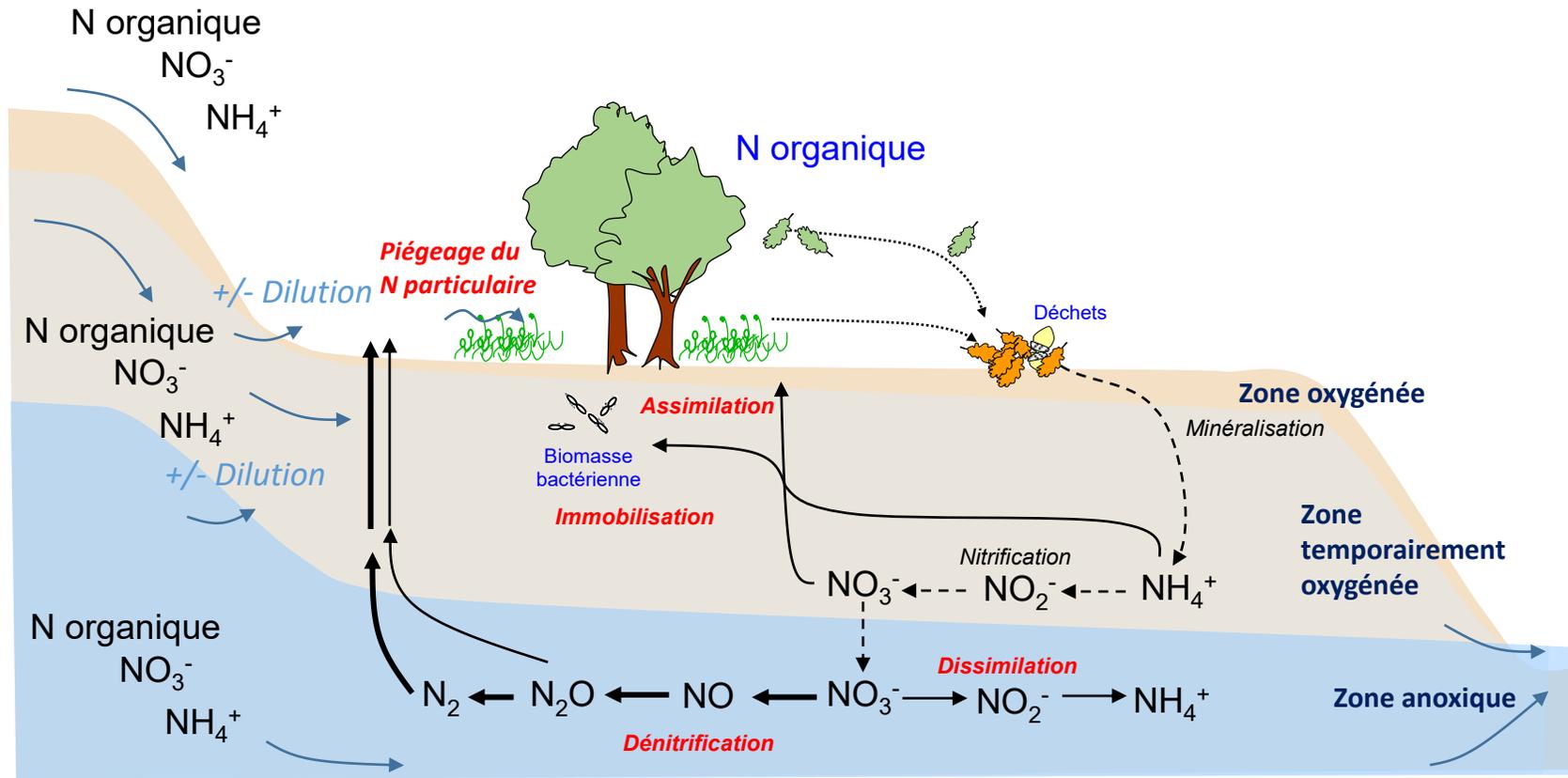


FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LES PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

PROCESSUS PERMETTANT L'ABATTEMENT DE L'AZOTE



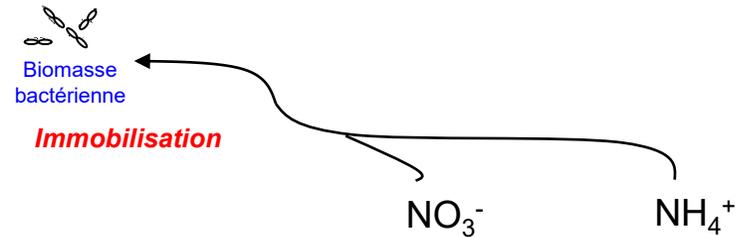
FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LES PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

PROCESSUS SECONDAIRES

LES PROCESSUS SECONDAIRES

- **Immobilisation bactérienne**

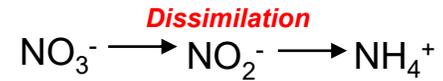


Immobilisation = intégration de l'N dans la biomasse bactérienne

- Les bactéries assimilent préférentiellement NH_4^+ à NO_3^- .
- L'immobilisation bactérienne peut entrer en compétition avec l'assimilation végétale
- N remis en circulation rapidement à la mort des bactéries (turn-over rapide)
- Permet un stockage temporaire dans le sol de l'azote minéralisé et évite le lessivage

LES PROCESSUS SECONDAIRES D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

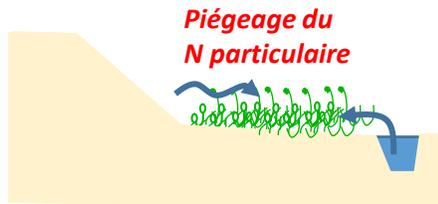
- **La dissimilation réductique du nitrate en ammonium**



- Réalisé par des **bactéries anaérobiques strictes**
- Beaucoup moins répandue que la dénitrification
- Essentiellement dans des environnements très riches en matière organique (ex: apports d'effluents organiques, zones de marais)
- Processus négligeable dans un bilan global en ZH non artificielle
- Le NH_4^+ produit est rapidement nitrifié s'il est remis en contact avec de l'oxygène

LES PROCESSUS SECONDAIRES D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

- **La sédimentation**

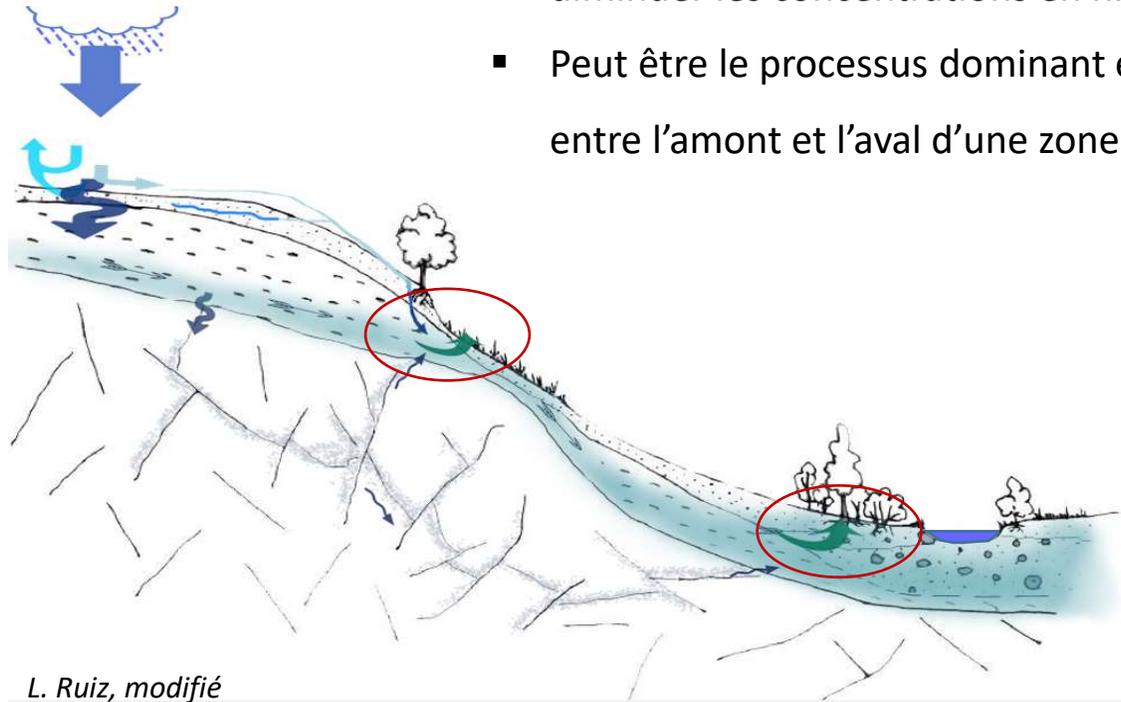


- Processus pouvant être dominant dans les zones humides alluviales (N particulaire et N adsorbé sur les sédiments)
- Accentué en présence de végétation herbacée
- Séquestration du N dans le sol liée à la décomposition lente de la matière organique
- Peut être importante suite à des phénomènes d'érosion en amont

LES PROCESSUS (SECONDAIRES) D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

- **La dilution**

- Dilution des eaux de surface ou subsurface par de l'eau de nappe profonde pauvre en nitrate.
- Ne constitue pas un abattement à proprement parler mais contribue à diminuer les concentrations en nitrate des cours d'eau.
- Peut être le processus dominant expliquant la baisse de concentration entre l'amont et l'aval d'une zone humide (vérifier rapport $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$).



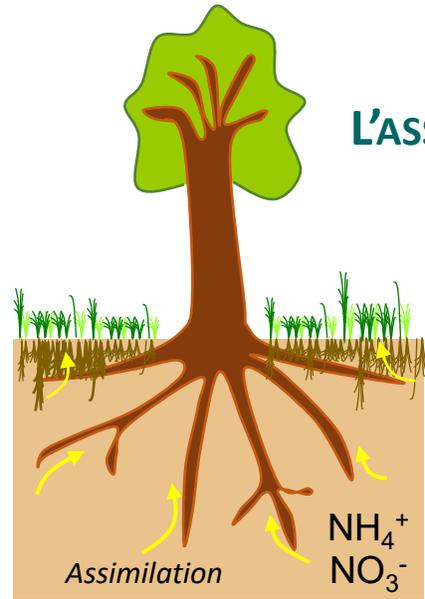
L. Ruiz, modifié

FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LES PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

PROCESSUS PRINCIPAUX - L'ASSIMILATION

PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE



L'ASSIMILATION

Permet un **stockage temporaire** de l'N à plus ou moins long terme.

Elle est fonction de:

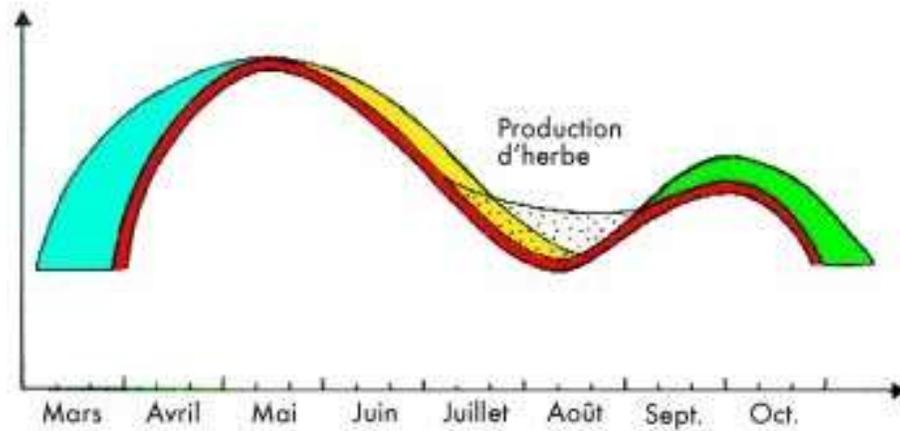
- la productivité primaire de la zone humide
- la production d'organes pérennes de la végétation
- la vitesse de décomposition et de minéralisation des tissus végétaux morts

L'ASSIMILATION

- Un stockage temporaire

Evolution annuelle de l'assimilation liée à la production de biomasse

Assimilation dans une prairie



<http://www.gnis-pedagogie.org/fourragere-choix-espece.html>

Les couleurs illustrent le décalage de phénologie de différentes espèces.

Comparaison de l'assimilation de différents milieux (bois, friche, prairie)

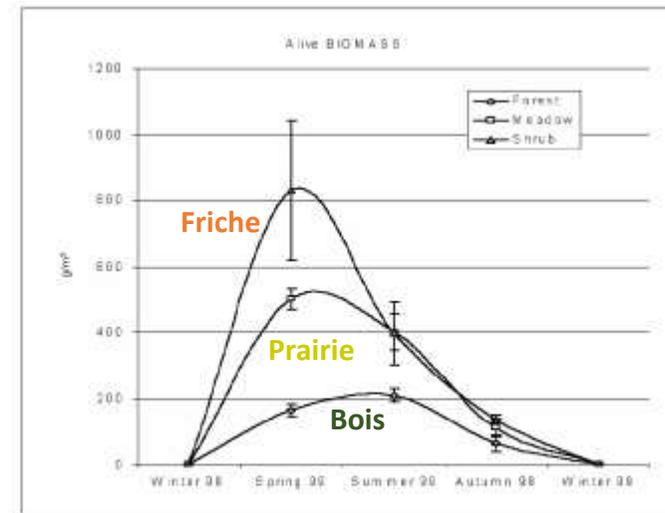


Figure 2: Evolution de la biomasse vivante sur les trois sites d'étude au cours de l'année. Moyennes des trois zones de chaque site et erreur standard.

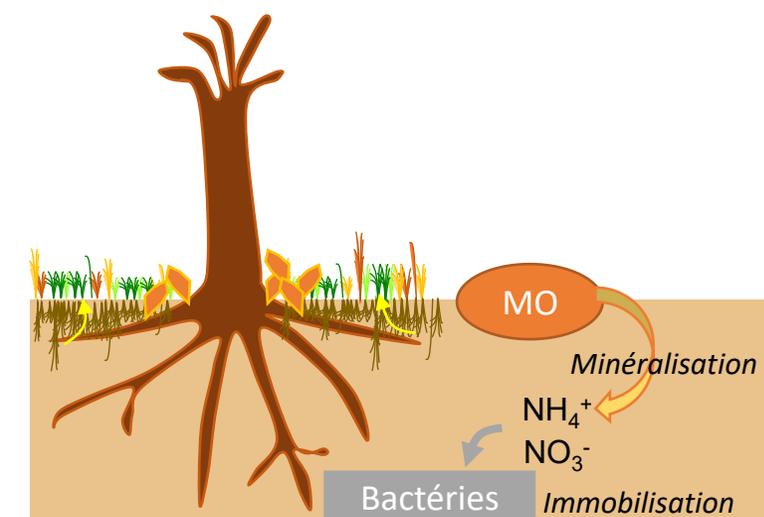
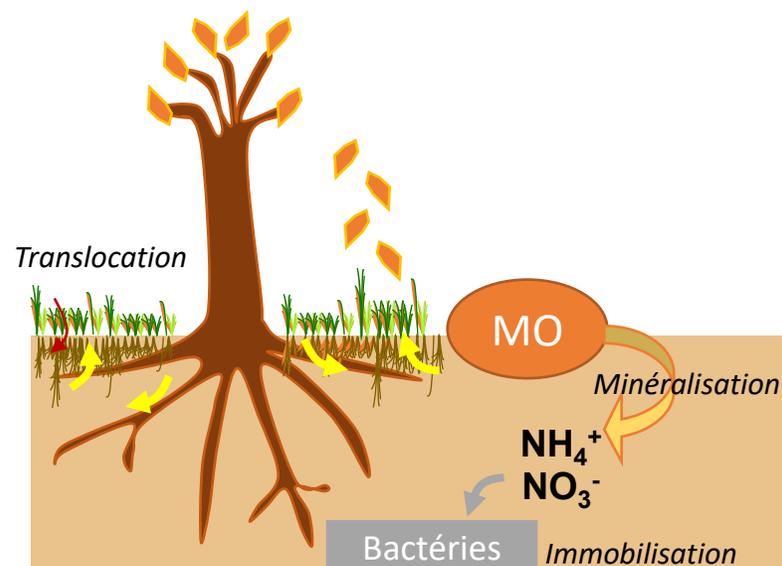
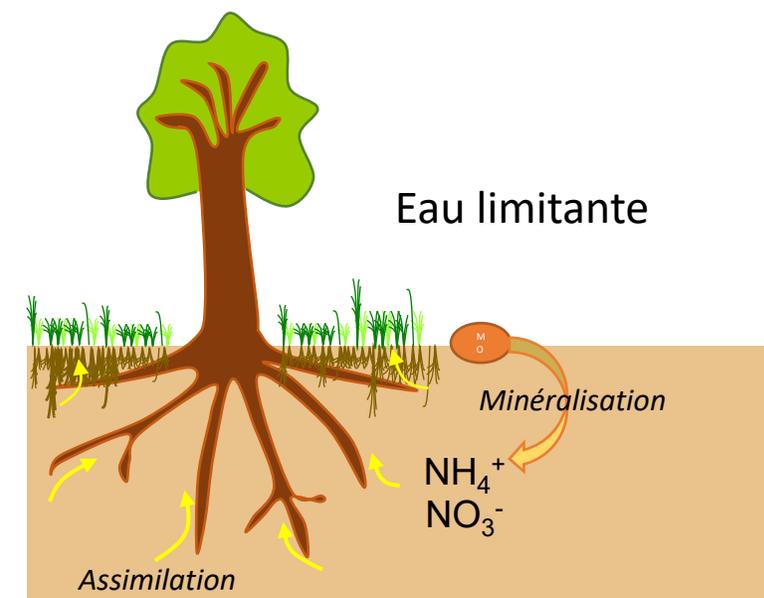
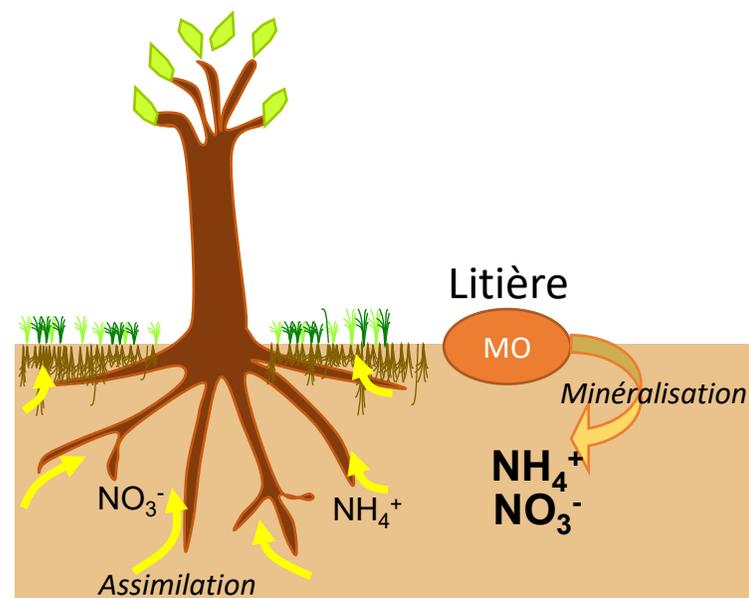
Clément, 2001

PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

L'ASSIMILATION

- Un stockage temporaire

Saisonnalité de l'assimilation



L'ASSIMILATION

- Un stockage temporaire

Restitution de l'azote au milieu

Elle est liée à la sénescence, à la décomposition et à la minéralisation de la matière organique

- La minéralisation de la matière organique est un processus aérobie
- Vitesse de minéralisation de la litière dépendant:
 - De la qualité de la litière produite par les plantes (présence de lignine, cires ...)
 - Des conditions du milieu: humidité, température, pH...

Favorisée par des températures et une humidité élevée sans être saturante



L'ASSIMILATION

- Un stockage temporaire

Restitution de l'azote au milieu

Restitution partielle de l'azote assimilé au cours de l'année

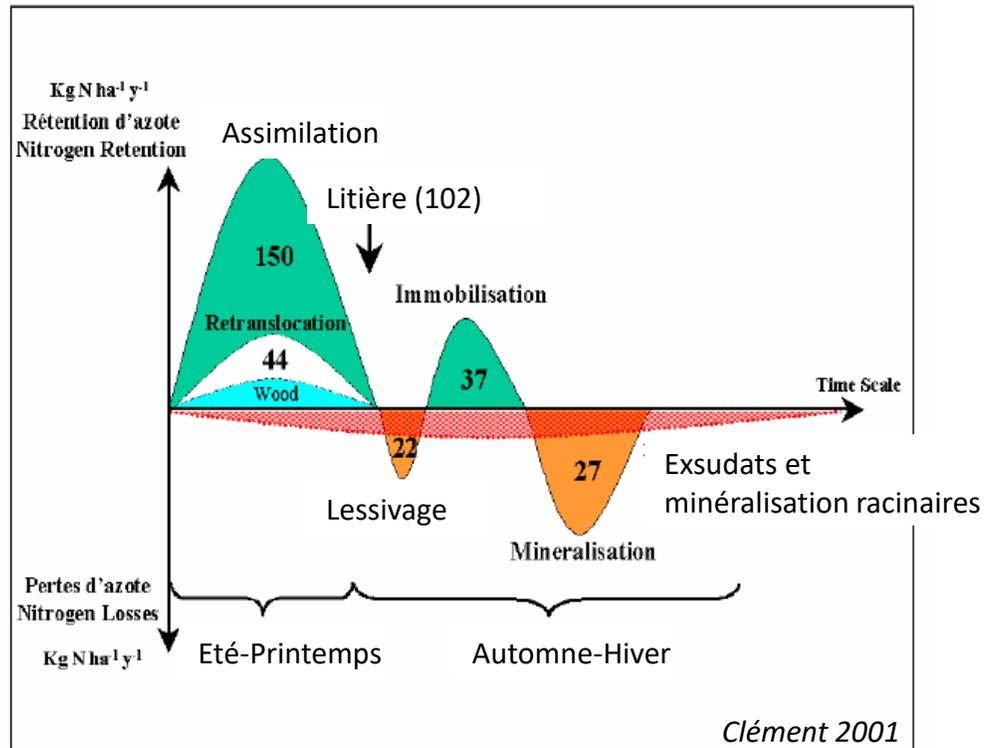


Figure 16: Schéma résumant la rétention et la perte d'azote moyenne mesurée sur les 3 sites d'étude lors d'un cycle végétatif complet.

L'ASSIMILATION

- Localisation de l'azote assimilé

Stockage à moyen et long termes de l'azote par ordre d'importance:

- Dans la matière organique plus ou moins réfractaire du sol
- Stockage ou retranslocation de l'N dans les racines, rhizomes et organes de stockage
- Dans les tissus ligneux aériens



L'ASSIMILATION

- Localisation de l'azote assimilé

Un stockage important au niveau racinaire

Productivités primaires nettes aériennes (PA) et souterraines (PS) et ratio PS/PA de différentes communautés végétales des zones humides tempérées et boréales

Biomasse en g/m ² /an	Productivité aérienne	Productivité souterraine	PS/PA
Roselières, Bas-marais eutrophes, Prairies humides	140 à 2600	140 à 1800	0,1 à 1,9
Haut-marais, Bas-marais oligotrophes, Landes humides, Toundra humide	40 à 850	70 à 1450	0,5 à 5,6

L'ASSIMILATION

- Localisation de l'azote assimilé

Ampleur de l'azote assimilé

Les racines, rhizomes, branches et troncs, permettent un stockage de 30 à 90kg d'azote/ha/an pendant plusieurs dizaines d'années (mesuré sur des sites en France)

Rétention d'azote moyenne sur 10 zones humides européennes

Processus	Rétention d'azote kgN/ha/an
Assimilation annuelle totale	80 à 170
Stockage dans le bois	12 à 42
Immobilisation bactérienne	1,9 à 60,3

Hefting et al. 2005

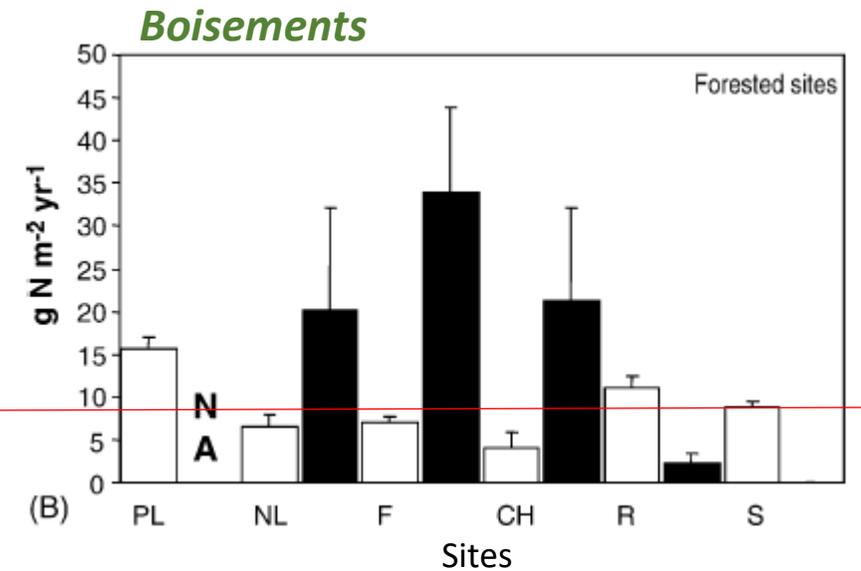
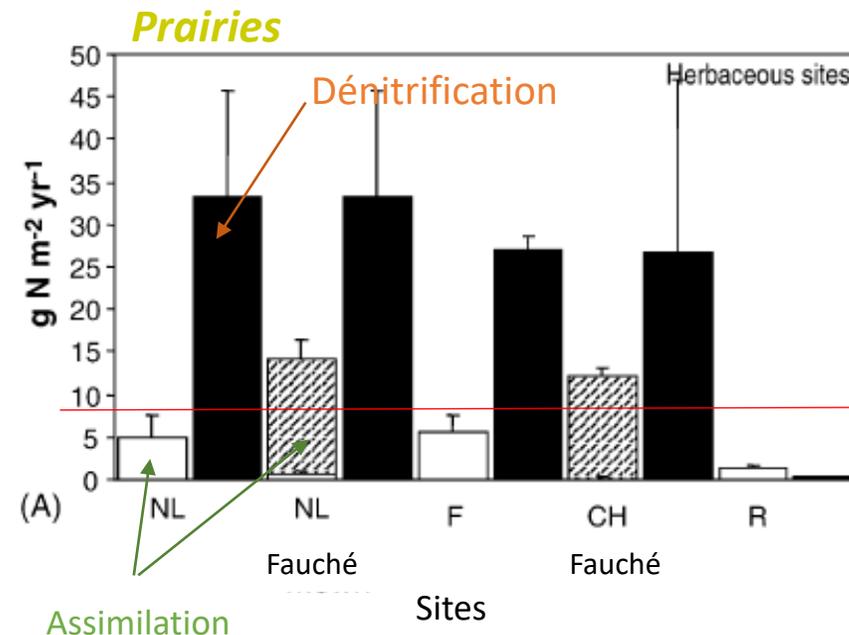
PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

L'ASSIMILATION

- Influence du couvert végétal

Les boisements **peuvent** retenir plus de N que les prairies

Grâce à : Une assimilation plus élevée
Une vitesse de décomposition plus lente



Hefting et al.

L'ASSIMILATION

- Influence du couvert végétal

Un constat non généralisable: certaines prairies stockent plus d'N que des forêts

Productivité et flux d'azote pour trois types de couverts dans une zone humide proche de Pleine-Fougères (d'après Clément, 2001)

	Friche	Forêt	Prairie
Production primaire annuelle (kg/ha)	19400	5000	6000
Assimilation d'azote annuelle (kgN/ha)	252	90	95
Azote restitué au sol dans l'année sous forme de litière (kgN/ha) (a)	204 (82 %)	63 (66 %)	39 (41 %)
Azote conservé par la plante (kgN/ha)	48 (18 %)	27 (33 %)	56 (59 %)
Minéralisation (kgN/ha) (b)	123,8	9,1	14,5
Immobilisation (kgN/ha) (c)	96	6	8
Pourcentage d'azote de la litière libéré la première année $((b-c)/a*100)$	13,7 %	4,5 %	16,5 %

Nb: dans l'étude la forêt est jeune et en croissance – le stockage est moins important dans les forêts mûres

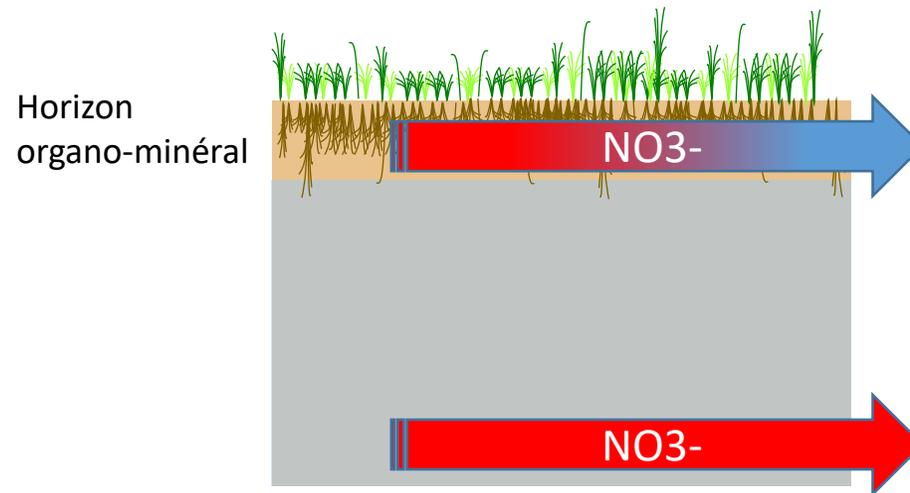
PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

L'ASSIMILATION

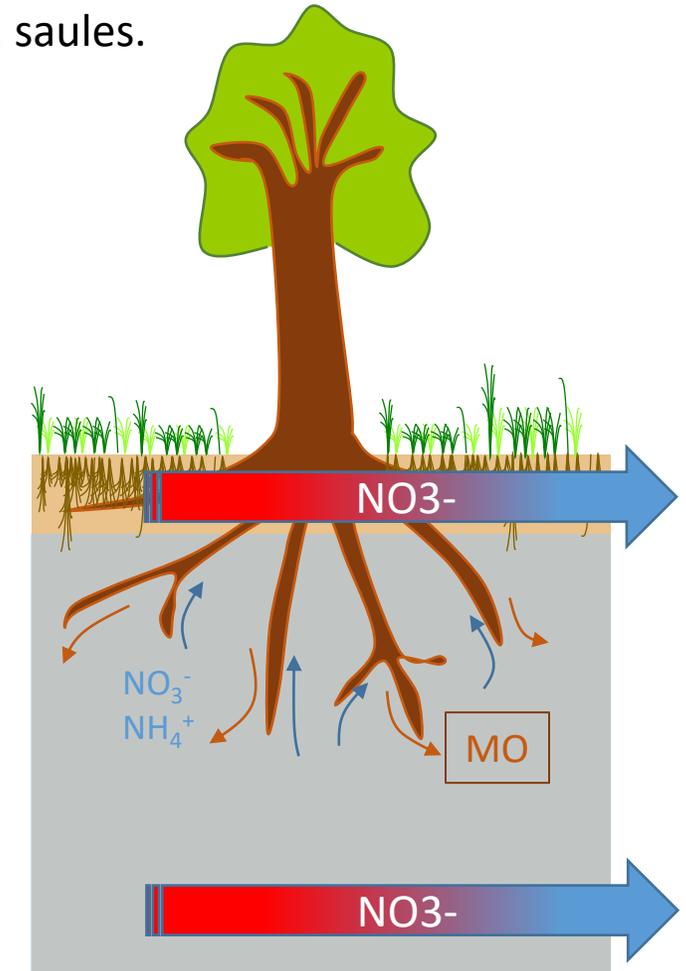
- Influence du couvert végétal

Influence sur la localisation de l'abattement d'azote

Prairie:
système racinaire superficiel



Arbres à système racinaire profond:
aulnes, saules.



Assimilation de l'azote en profondeur

L'ASSIMILATION

Synthèse

- **Un stockage temporaire limitant le transfert d'azote vers les cours d'eau**
- **Un stockage dépendant:**
 - Du type de végétation
 - De la vitesse de minéralisation de la matière organique produite
 - Du mode de gestion

FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LES PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

PROCESSUS PRINCIPAUX - LA DÉNITRIFICATION

LA DÉNITRIFICATION

- Le processus



- Réalisé par des bactéries anaérobies facultatives en absence d'oxygène
- Permet une libération d' N_2 gazeux dans l'atmosphère et donc sa suppression définitive du milieu

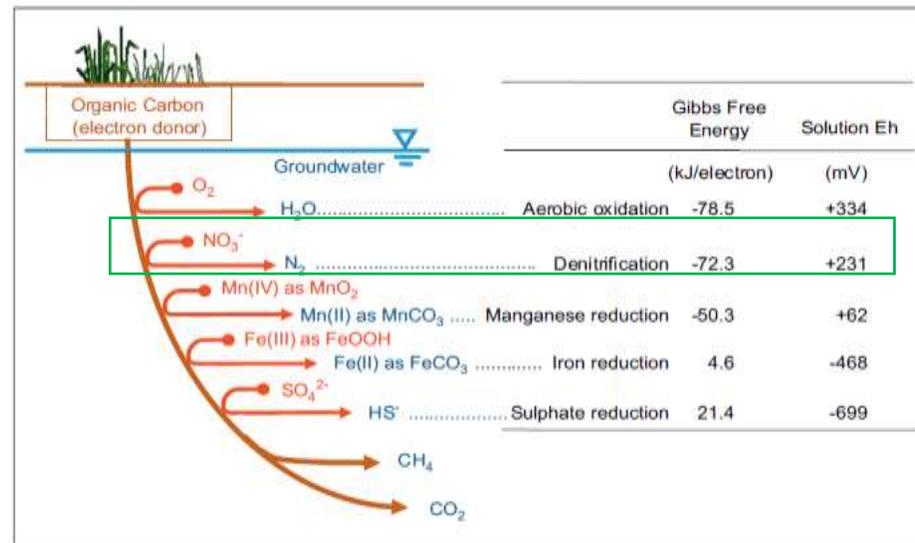


Fig. 1 – Thermodynamic sequence of electron acceptors for oxidation of organic carbon in the saturated zone (adapted from Korom, 1992). *Issus de Rivett et al. 2008*

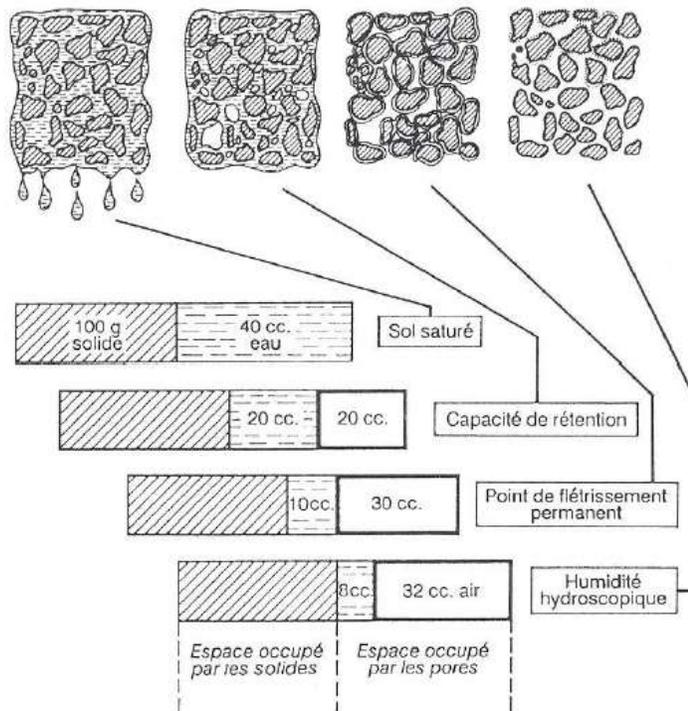
LA DÉNITRIFICATION

- **Les conditions de la dénitrification**
 - **Absence d'oxygène**
 - Liée à la consommation de l'O₂ de l'eau par les bactéries lors de la décomposition de la matière organique
 - Dépendante du temps de résidence de l'eau dans le sol
 - Entre 2 et 10 jours pour obtenir des conditions d'anoxie favorables
 - Dénitrification en dessous de 1 à 2 mgO₂/l

LA DÉNITRIFICATION

- Les conditions de la dénitrification
 - Absence d'oxygène

Conditionnée par le degré de saturation en eau des pores du sol

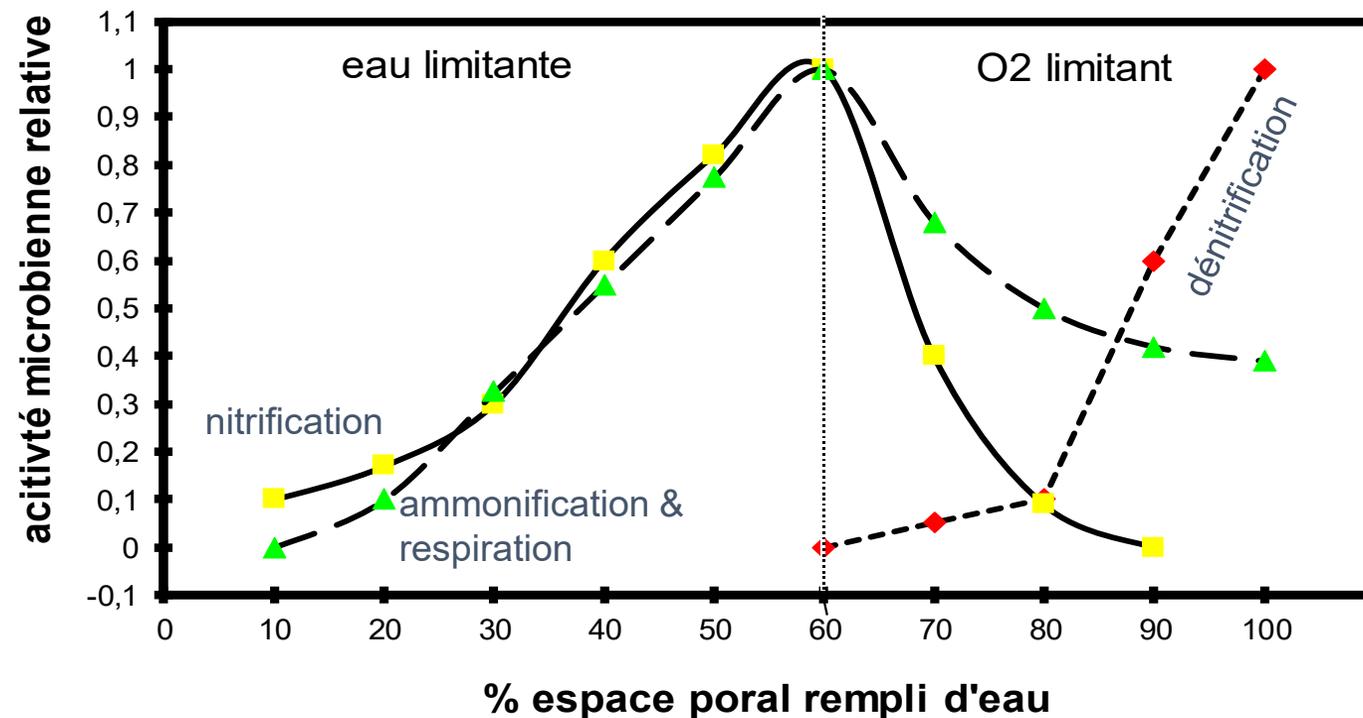


En dessous de 60 % d'humidité, la dénitrification est considérée comme nulle

LA DÉNITRIFICATION

- Les conditions de la dénitrification
 - Absence d'oxygène

Rôle de l'humidité du sol sur l'importance relative des biotransformations de l'azote



LA DÉNITRIFICATION

- **Les conditions de la dénitrification**

- **Présence de nitrate**

En absence d'autre facteur limitant, on observe généralement une augmentation de la dénitrification proportionnelle à celle de la concentration en nitrate dans le milieu



NO_3^- à concentration élevée inhibe la dénitrification de N_2O en N_2

Aboutit à l'émission de N_2O , gaz à effet de serre

LA DÉNITRIFICATION

- **Les conditions de la dénitrification**
 - **Présence d'une source d'énergie**

Source principale en surface : le carbone contenu dans la matière organique du sol

- Relation positive entre teneur en MO du sol et dénitrification
- En conditions favorables, la cinétique de dénitrification suit celle de la minéralisation de la MO → dépend de la qualité de la litière donc du type de végétation
- En absence de carbone: bactéries autotrophes utilisent des composés minéraux notamment la pyrite (sulfate de fer FeS_2)

LA DÉNITRIFICATION

- Les conditions de la dénitrification
- Présence d'une source d'énergie

En absence de carbone en profondeur :

Oxydation de la pyrite (FeS_2)

Un processus important dans les aquifères sur socles

Diminution de la concentration en nitrate d'un aquifère liée à la dénitrification

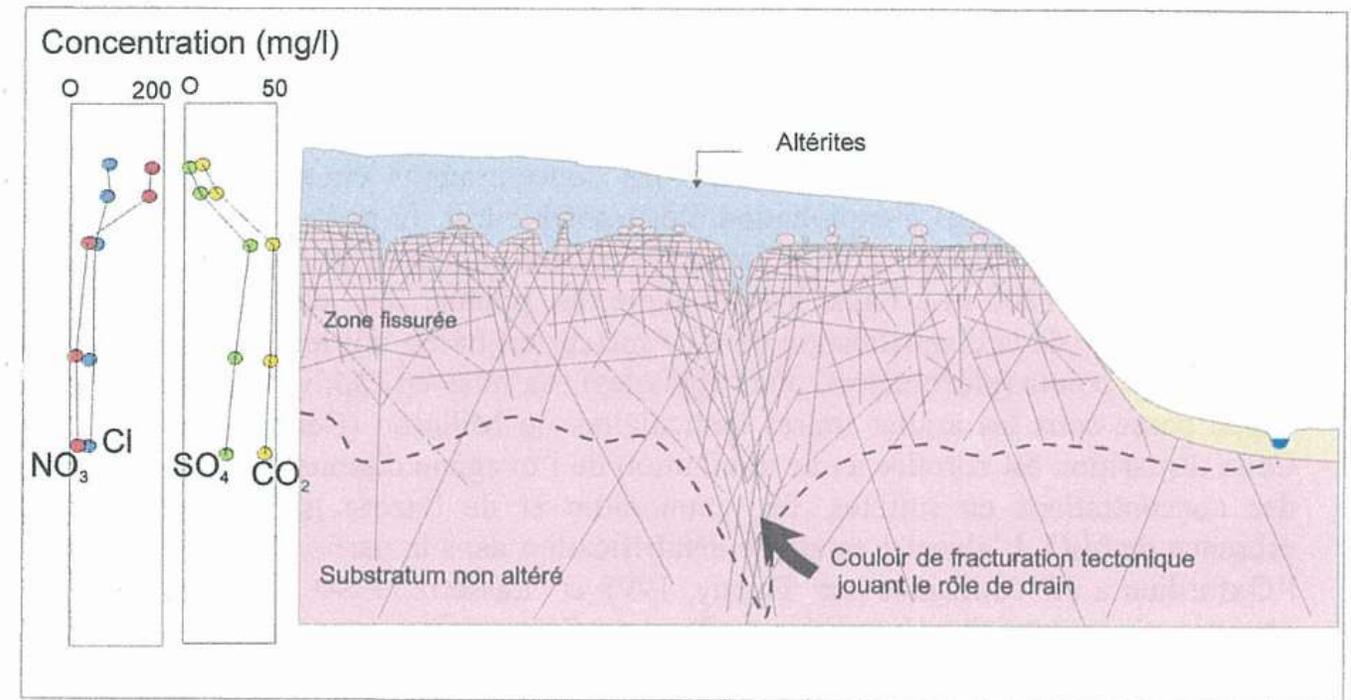


Fig. 2 - Répartition des nitrates entre les compartiments aquifères en milieu de socle. La concentration en NO₃ diminue alors que corrélativement les concentrations en SO₄ ou en CO₂ augmentent, par oxydation du carbone organique dissous ou de la pyrite.

Données BRGM, 2000

LA DÉNITRIFICATION

- **Facteurs d'influence de la dénitrification**

- Le pH

À un $\text{pH} < 4$ la dénitrification est partiellement inhibée

- La température

Gamme étendue: de $1-4^{\circ}\text{C}$ à 60°C avec une optimum aux alentours de 25° à 30°C

LA DÉNITRIFICATION

- **Variabilité spatiale de la dénitrification**

Bactéries dénitrifiantes largement répandues dans le sol (populations non limitantes)

- **Variabilité en fonction de la profondeur**

- L'ampleur de l'activité dénitrifiante décroît drastiquement entre l'horizon organo-minéral et l'horizon minéral.
- Populations décroissant rapidement avec la profondeur mais toujours présentes.

Présence avérée dans des aquifères profonds (450 m dans le granite).

LA DÉNITRIFICATION

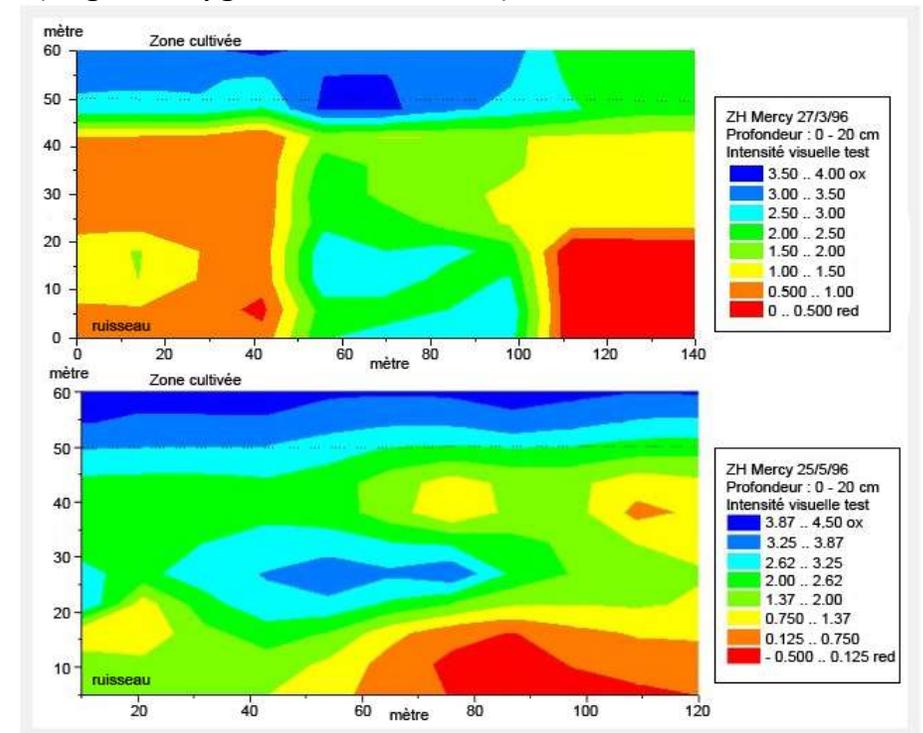
- Variabilité spatiale de la dénitrification

- En réponse à la forte variabilité spatiale intrasite des conditions abiotiques

Liée par exemple à:

- La microtopographie;
- L'hétérogénéité de la répartition de la matière organique (dépôts de fèces, accumulation de litière, ...);
- Les variations microclimatiques liées à la structure de la végétation;
- A la circulation de l'eau selon des passages préférentiels;
- L'hétérogénéité des dépôts alluviaux;
- Etc ...

Variation spatiale et temporelle des potentiels redox (degré d'oxygénation du milieu)

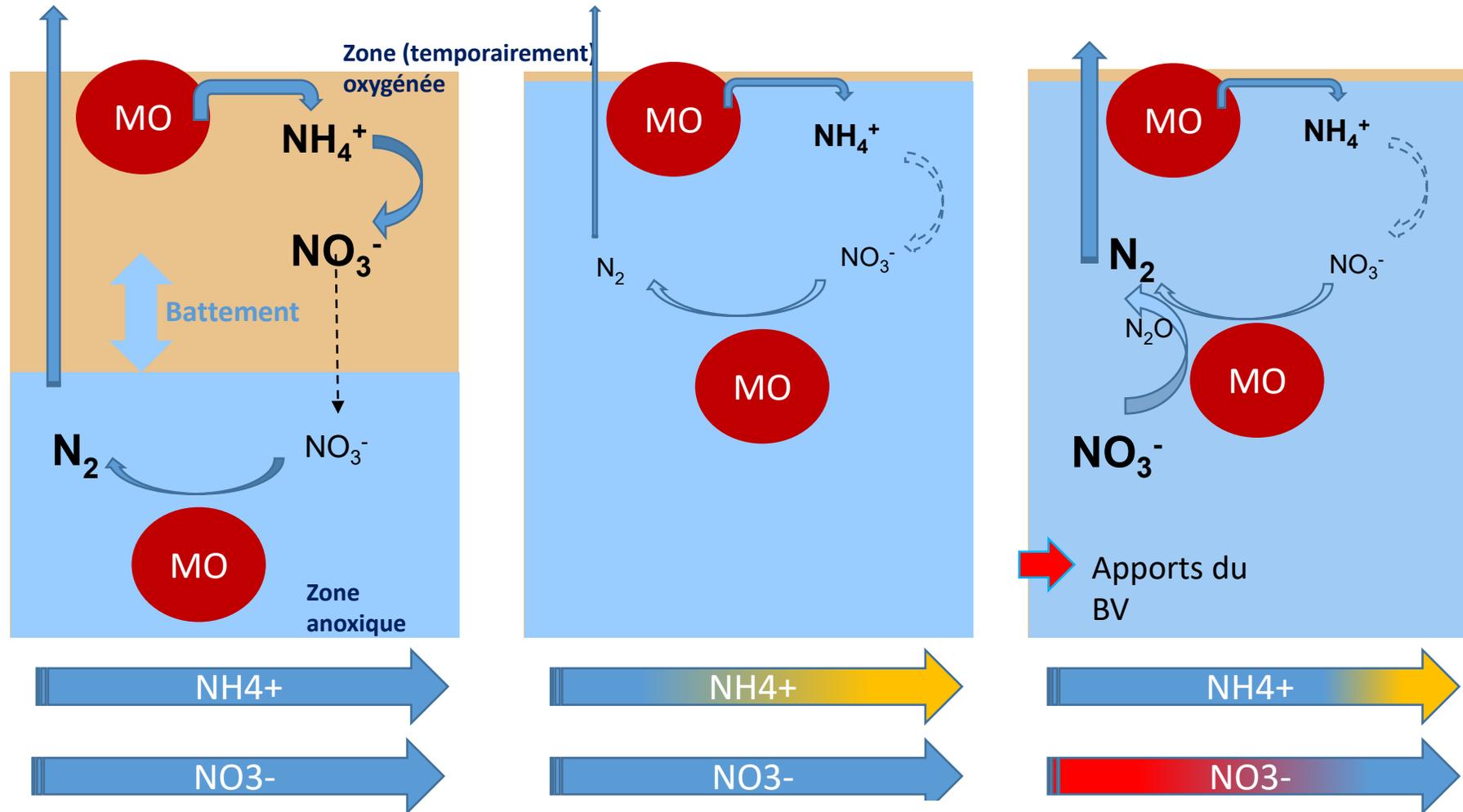


Bidois, 1999

PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

- Variabilité spatiale de la dénitrification

- Influence du niveau de la nappe en fonction de l'horizon organo-minéral

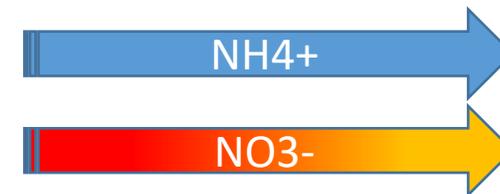
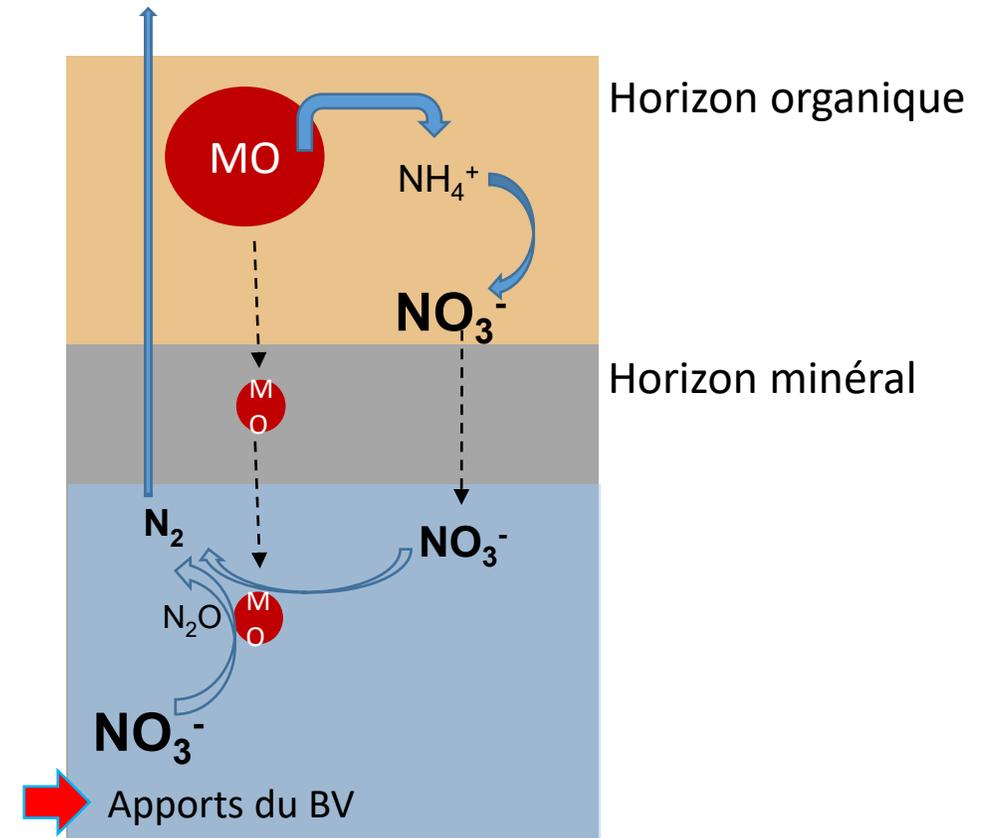
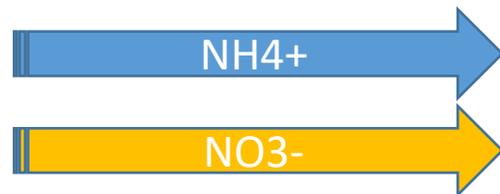
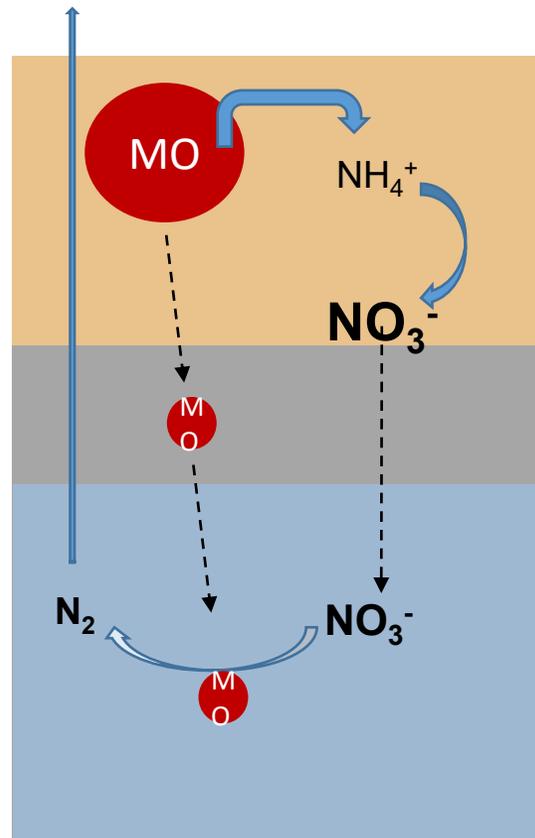


Peu de dénitrification car faible production de nitrate

PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

- Variabilité spatiale de la dénitrification
 - Influence du niveau de la nappe en fonction de l'horizon organo-minéral

Nappe dans l'horizon minéral



LA DÉNITRIFICATION

- **Variabilité temporelle de la dénitrification**
 - **Une saisonnalité marquée**

Dépend principalement de la température et de l'hydropériode du site

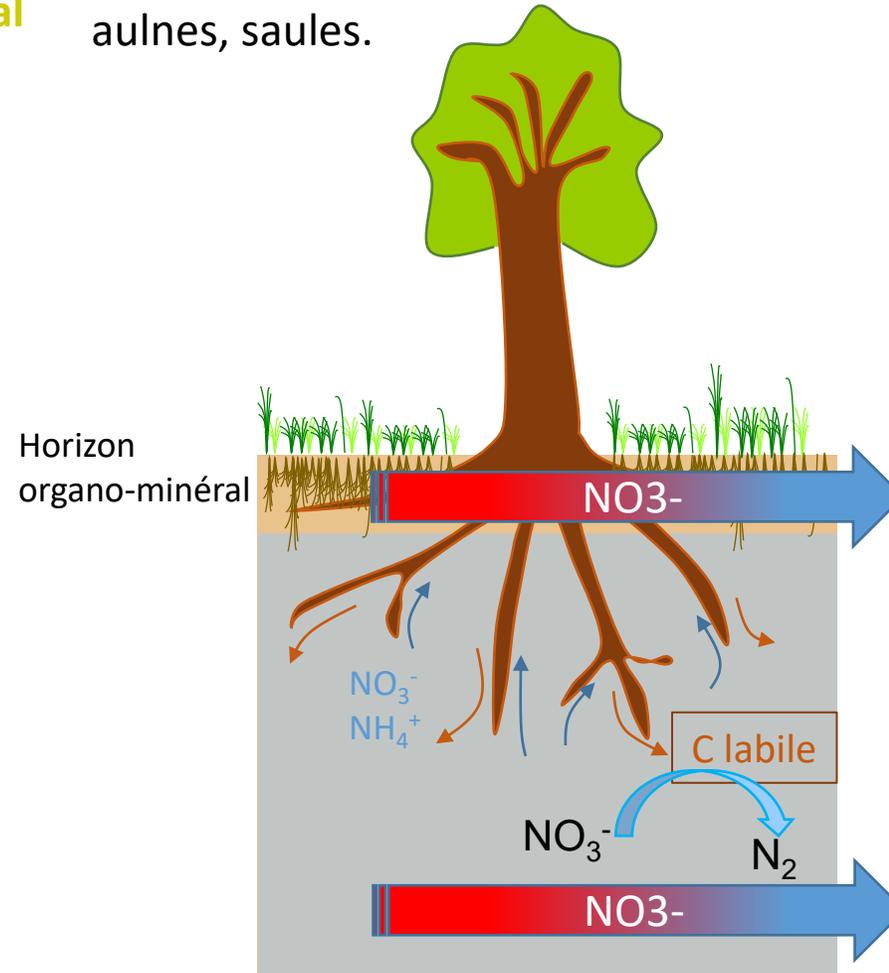
- En hiver: conditions de saturation en eau optimale mais dénitrification ralentie quand les températures sont basses
- En été: la faible saturation en eau du sol peut devenir le facteur limitant
Si le sol reste suffisamment humide: pic de dénitrification estival

PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

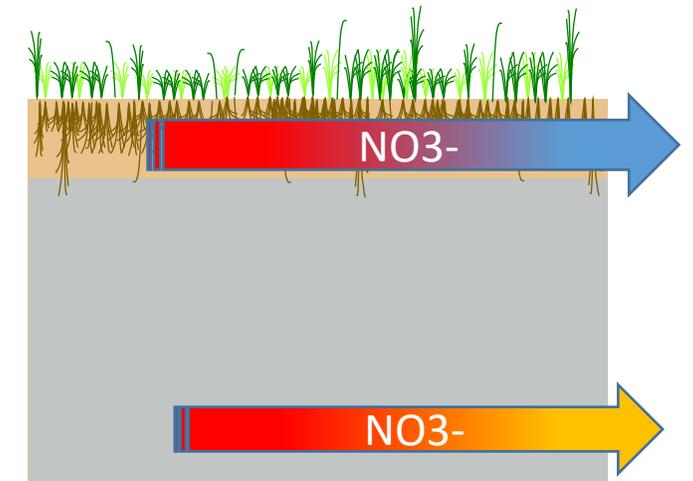
LA DÉNITRIFICATION

- **Influence du couvert végétal**

Arbres à système racinaire profond:
aulnes, saules.



Prairie:
système racinaire superficiel



Apport de C en profondeur par exsudats racinaires

LA DÉNITRIFICATION

- **Influence du couvert végétal**

- Pas de différence significative entre les sites boisés et les prairies
Les différences quand elles existent sont liées à la teneur en C du sol (peu de données)
- Différence significative entre les cultures (plus faible) et les prairies principalement liée à la porosité du sol et en profondeur au profil carboné
- Différence atténuée par l'absence de labours

Exemple *Ullah et al. 2005*:

Dénitrification 3,5 fois plus élevée dans un boisement que dans une zone humide drainée et cultivée, pour des concentrations de NO_3^- élevées
Un peu moins que le double pour des concentrations de NO_3^- faibles

Stockage d'azote organique deux fois moins important dans le sol sous culture.

LA DÉNITRIFICATION

- **Quantité d'azote abattu**

Forte variabilité de la dénitrification selon les zones humides.

En France: de 50kgN/ha/an à plus de 200 kgN/ha/an de zone humide

Exemples de valeurs ailleurs dans le monde:

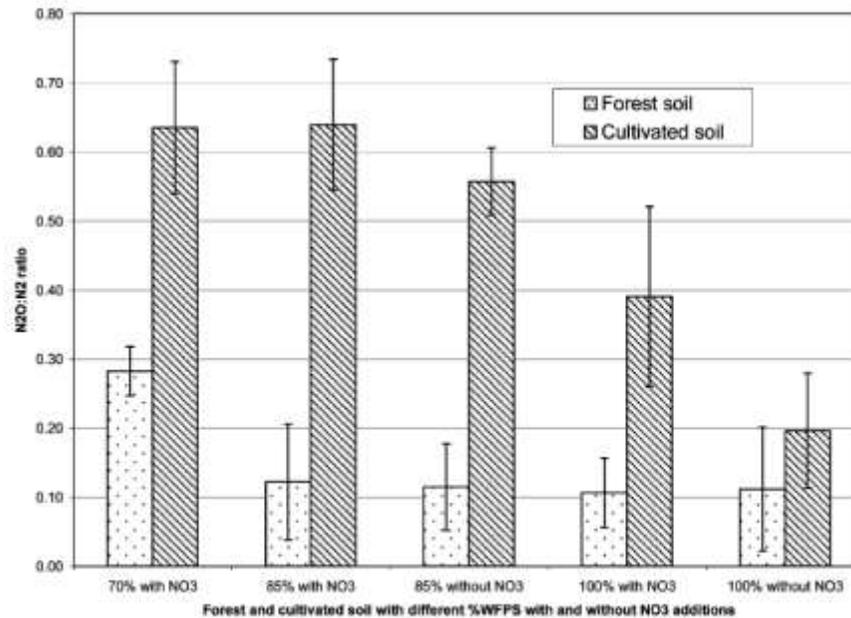
Azote dénitrifié en kg. ha ⁻¹ .an ⁻¹	Milieu naturel	Auteurs (cités par Hill, 1996)
31,5	Zone enherbée en bordure de sol cultivé en Géorgie (USA)	Lowrance et al., 1984
56 à 104	Zone riveraine forestière (Europe et USA)	Pinay et al., 1993; Hanson et al., 1994
40	Sol forestier mal drainé recevant des eaux d'origine domestique	Zak et Grigal, 1991 ;
10 à 16	Marais boisé en bordure de forêt (Minnesota et Rhode Island, USA)	Hanson et al., 1994

LA DÉNITRIFICATION

- **Effet antagoniste: production de N_2O**
 - **Production de N_2O lié à une dénitrification incomplète**
 - Gaz à effet de serre 300 fois plus puissant que le CO_2
 - Contribue à détruire la couche d'ozone
 - **Facteurs favorables à la production de N_2O :**
 - Saturation en eau des pores du sol autour de 60 à 70%
 - Apports de NO_3^- importants (pas de valeur seuil connue)
 - pH très acides (proche ou <4)
 - Peut devenir la source dominante de N libéré sous forme gazeux lors de la dénitrification dans des conditions non optimales

LA DÉNITRIFICATION

- Effet antagoniste: production de N_2O



Points: Boisements

Hachures: Sols cultivés = zone humide drainée

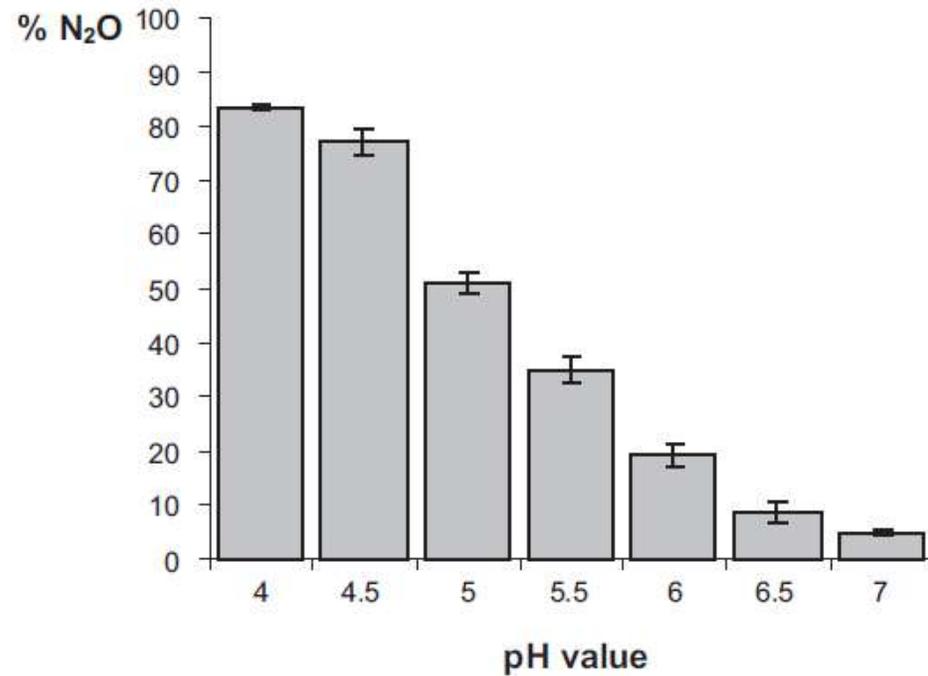
WFSP: pourcentage de saturation en eau des pores du sol

Ratio N_2O/N_2 en fonction du pourcentage de saturation en eau des pores du sol avec ou sans ajout de NO_3^-

Ullah et al. Biogeochemistry (2005) 73: 499–513

LA DÉNITRIFICATION

- Effet antagoniste: production de N_2O



Emissions de N_2O en fonction du pH, en conditions expérimentales, exprimées en pourcentage de la dénitrification totale.

LA DÉNITRIFICATION

- **Synthèse**

- **Un processus d'abattement définitif**
- **Facteurs favorables à la dénitrification**
 - Sols riches en matière organique
 - Saturation en eau proche de la surface et fluctuant dans l'horizon organique
 - Temps de résidence de l'eau élevée
- **Pour limiter les émissions de N₂O**
 - Saturation importante du sol en eau >70% du volume des pores du sol
 - Concentrations modérées en nitrate dans l'eau

FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LES PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

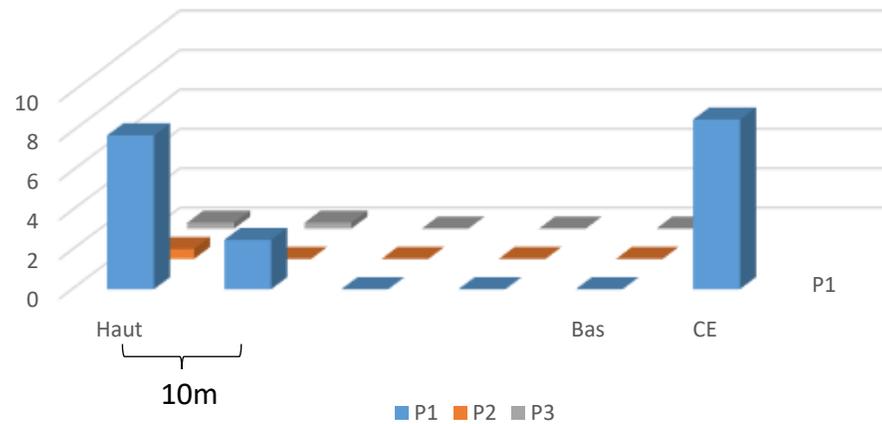
LOCALISATION ET COMPLÉMENTARITÉ DES
PROCESSUS

LOCALISATION ET COMPLÉMENTARITÉ DES PROCESSUS

LOCALISATION DE L'ABATTEMENT

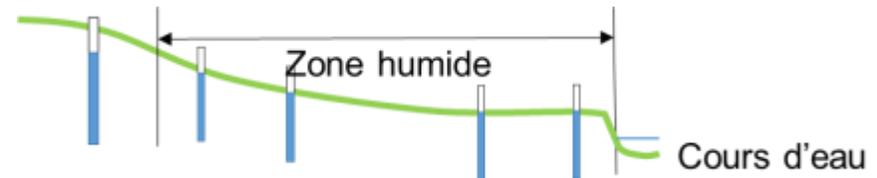
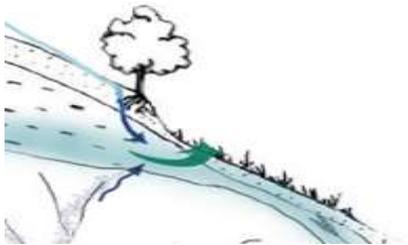
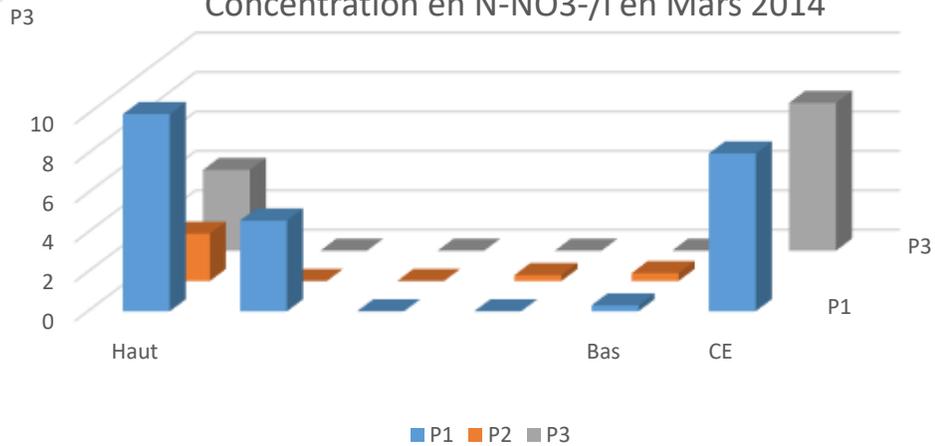
- Zone d'interface bassin versant – zone humide

Concentrations en N-NO3 en Décembre 2013



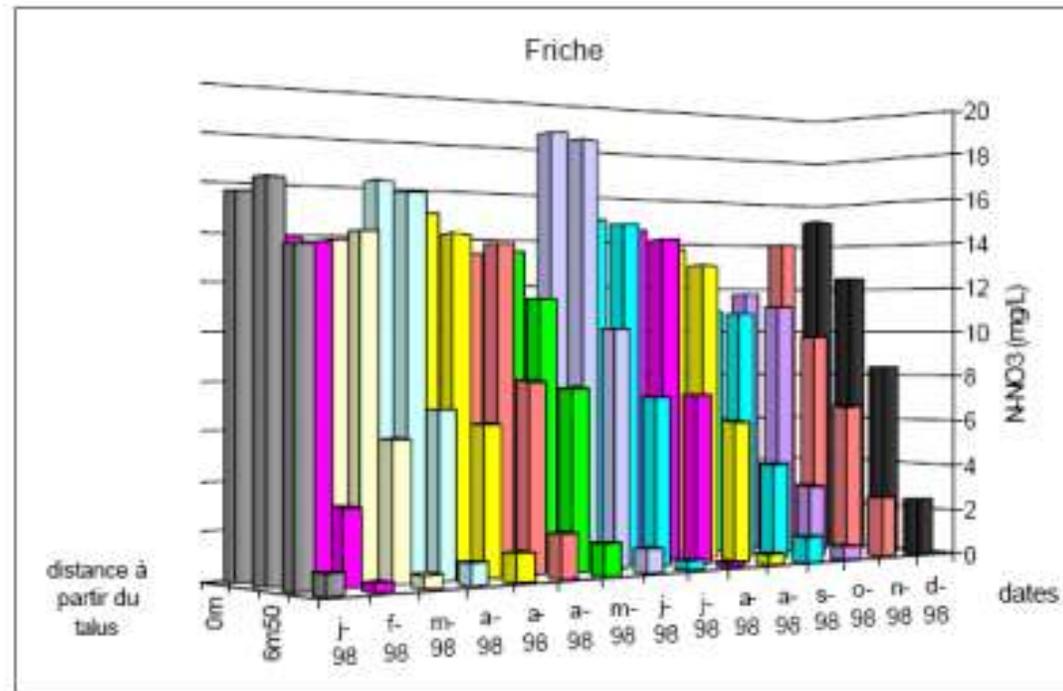
Site pilote de Coat Carriou (29), RERZH

Concentration en N-NO3-/l en Mars 2014



LOCALISATION DE L'ABATTEMENT

- Zone d'interface bassin versant – zone humide



Passage de 60 mg/l à 6 mg/l de NO_3^- sur une distance de 6,5 m

Figure 48 : Décroissance des concentrations en nitrate dans l'eau de subsurface à l'interface versant – zone humide (Merot, 2000 ; d'après Clément, 2001)

➔ Abattement important dans les premiers mètres en entrée de zone humide

LOCALISATION ET COMPLÉMENTARITÉ DES PROCESSUS

LOCALISATION DE L'ABATTEMENT

- Zone d'interface bassin versant – zone humide

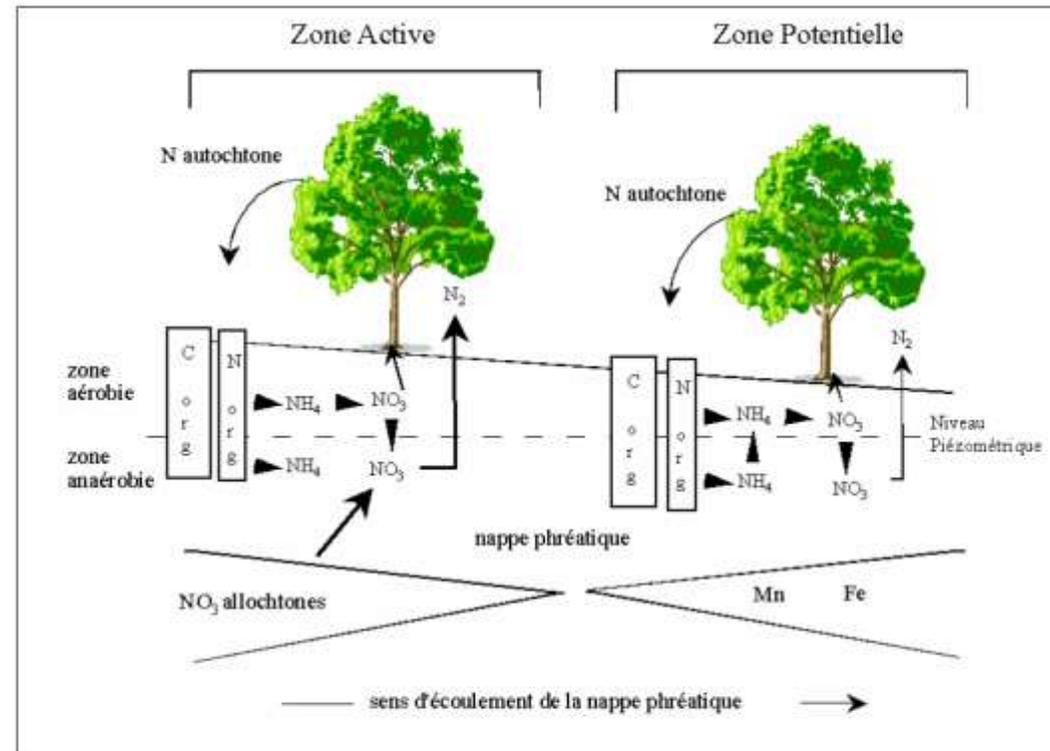


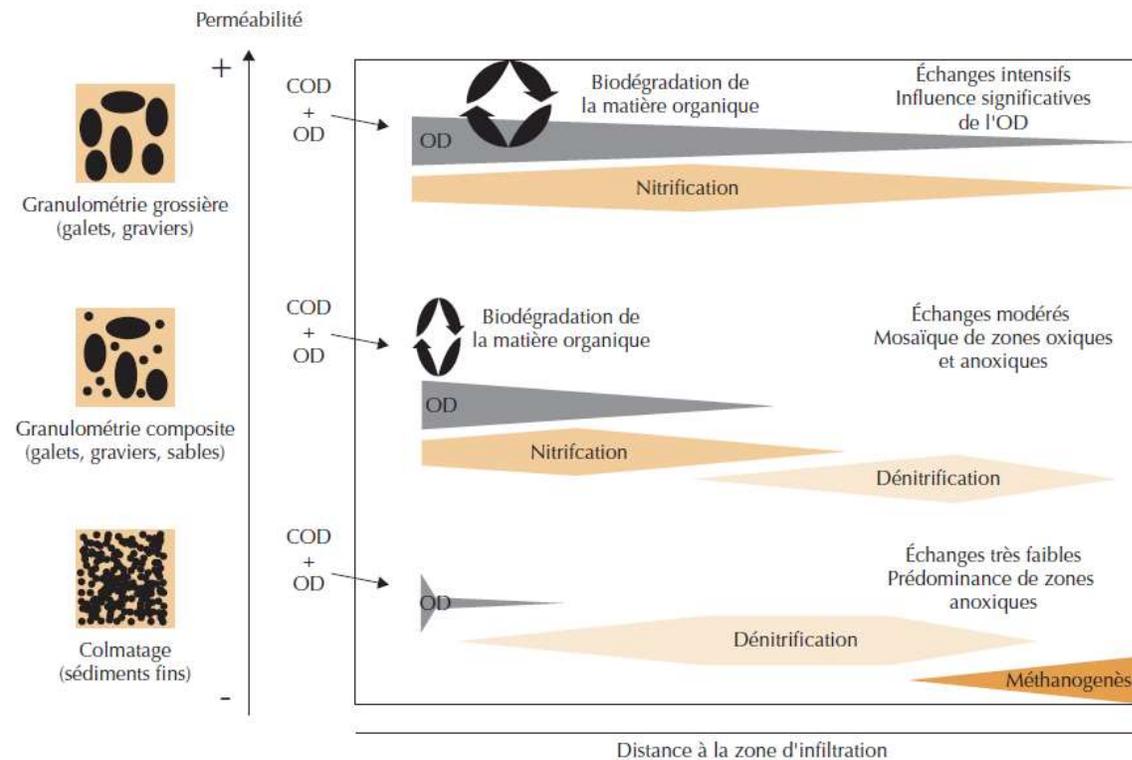
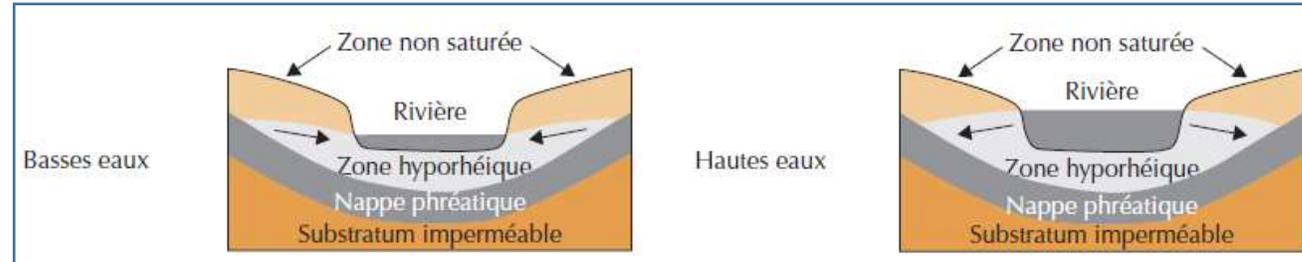
Figure 6: Modèle conceptuel de la régulation des flux d'azote provenant des nappes phréatiques. D'après (Pinay

➔ L'efficacité de rétention de l'N dans les ZH est plus dépendant de la longueur de son interface avec le bassin versant que sa surface totale

LOCALISATION ET COMPLÉMENTARITÉ DES PROCESSUS

LOCALISATION DE L'ABATTEMENT

- **Zone hyporhéique**



COD : carbone organique dissous.
OD : oxygène dissous.
Nitrification : production de nitrate à partir d'ammonium.
Dénitrification : élimination des nitrates en azote atmosphérique.
Méthanogenèse : réduction de composés organiques en méthane.

LOCALISATION ET COMPLÉMENTARITÉ DES PROCESSUS

COMPLÉMENTARITÉ DES PROCESSUS

- Comparaison de l'ampleur des processus d'assimilation et de dénitrification
 - Contributions relatives décalées dans le temps

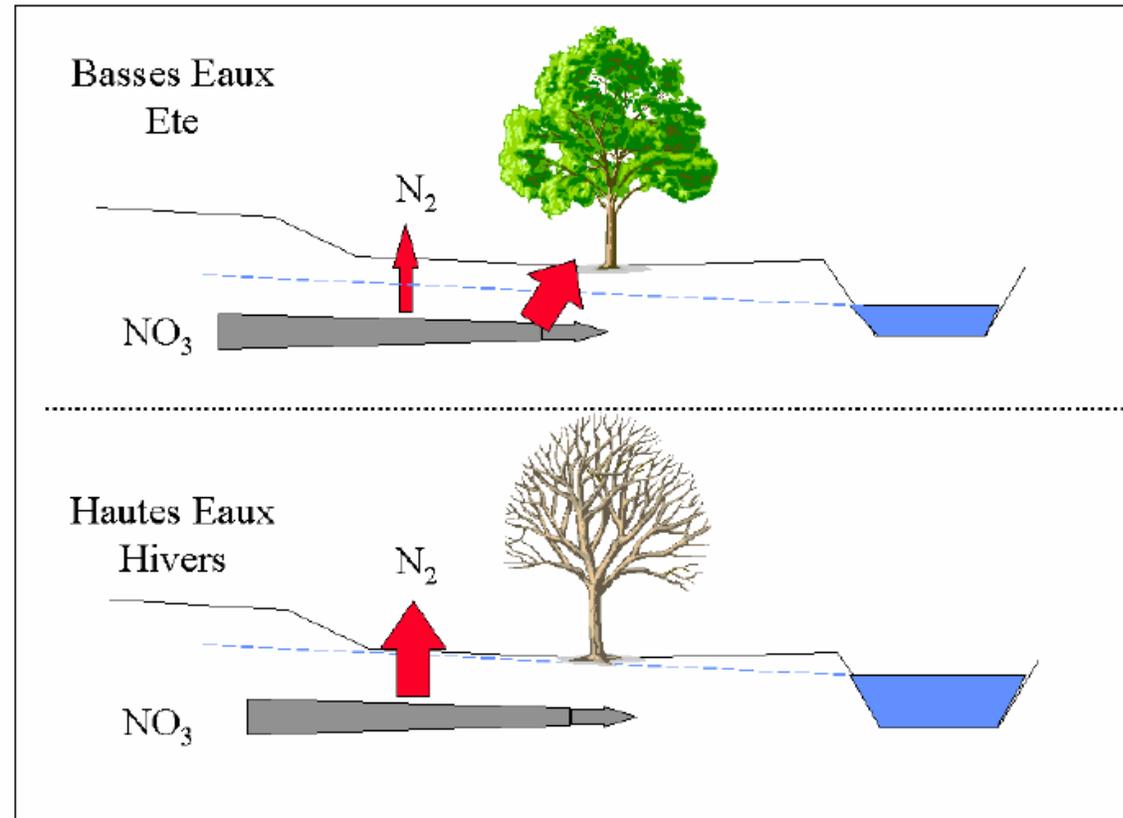


Figure 4: Illustration de la complémentarité Végétation – Dénitrification pour la ressource azotée au cours des saisons sous climat tempéré. Clément, 2001

COMPLÉMENTARITÉ DES PROCESSUS

- Comparaison de l'ampleur des processus d'assimilation et de dénitrification
 - Une grande variabilité
 - Grande variabilité des contributions de deux processus
 - La dénitrification contribue de 0 à 90% de l'abattement total de l'N

Rétention annuelle d'N par assimilation de la végétation, en % de la rétention annuelle globale (Dénitrification + assimilation)

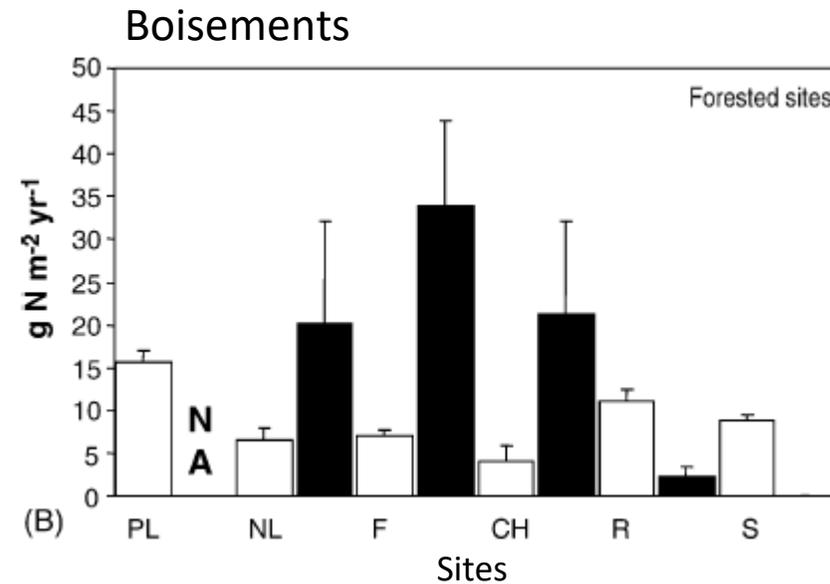
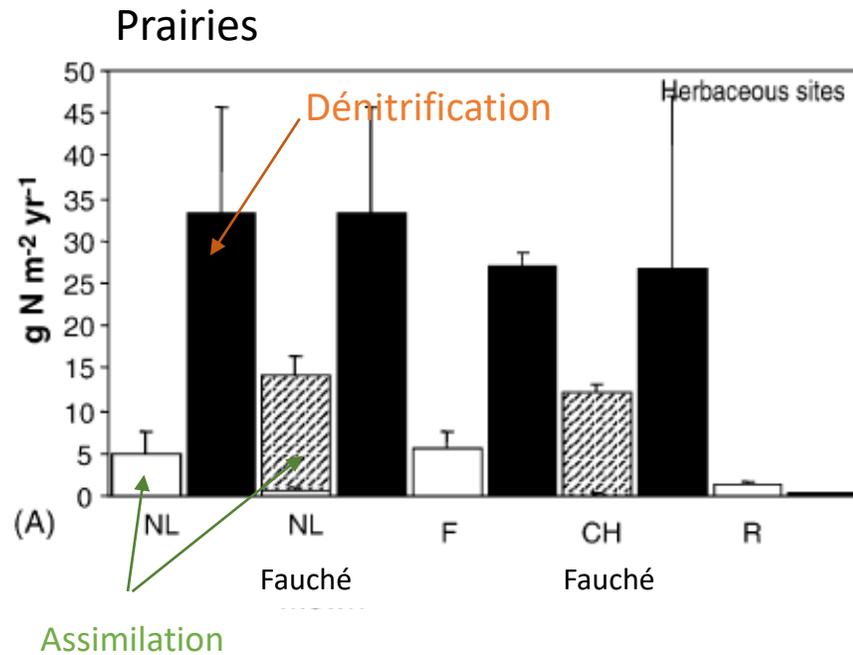
<u>Sites prairiaux</u>	
NL	12.6
NL-mown	29.7
F	17.5
CH-mown	31.0
R	73.0
<u>Sites boisés</u>	
PL	Non mesuré
NL	24.5
F	17.0
CH	16.1
R	82.7
S	99.6

LOCALISATION ET COMPLÉMENTARITÉ DES PROCESSUS

COMPLÉMENTARITÉ DES PROCESSUS

- Comparaison de l'ampleur des processus d'assimilation et de dénitrification

- Une grande variabilité



MISE EN GARDE

Les zones humides ont globalement une forte capacité à réduire les flux d'azote des bassins versant vers les cours d'eau

MAIS

les zones humides ne sont pas des stations d'épuration

- Soumis à des concentrations élevées d'N de façon répétées, elles subissent une modification drastique de la végétation:
 - Disparition d'espèces à croissance lente au profit d'espèces productives à croissance rapide;
 - Décomposition plus rapide de la litière
- Aboutit à une diminution de la capacité d'abattement en nitrate et une baisse de la biodiversité
- Favorise une production importante de N₂O qui déplace le problème environnemental

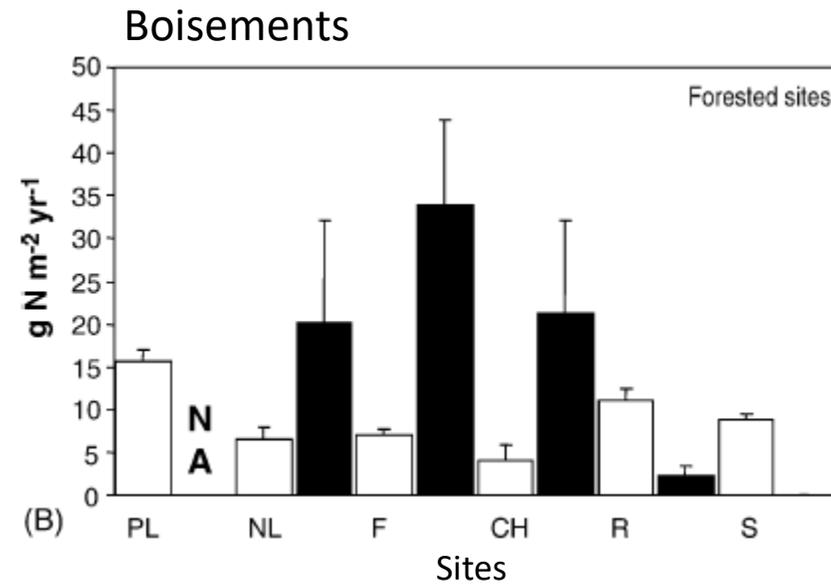
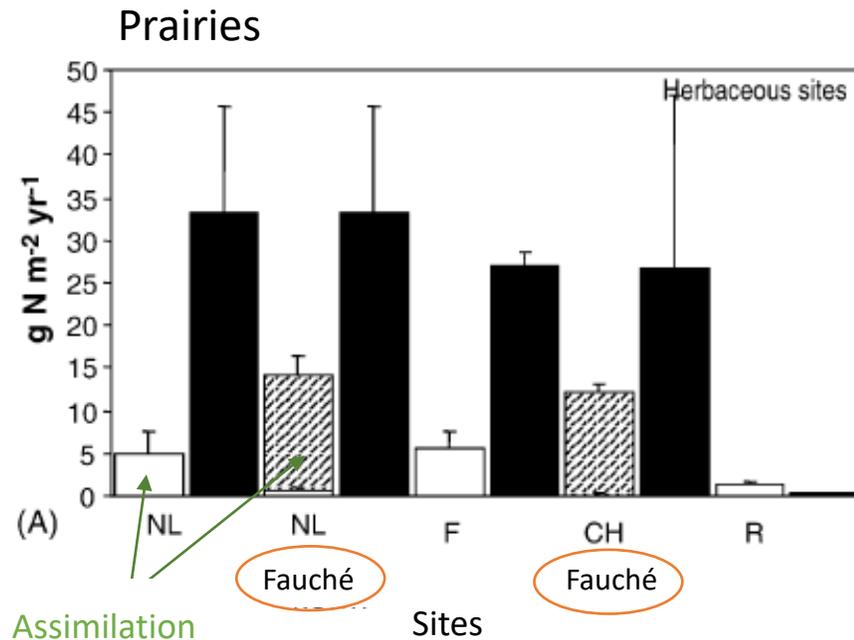
FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LES PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

INFLUENCE DE LA GESTION

LA FAUCHE

- La fauche permet d'augmenter l'assimilation d'une prairie (+ 40%) et l'export du produit de fauche limite la restitution au milieu (- 90%)

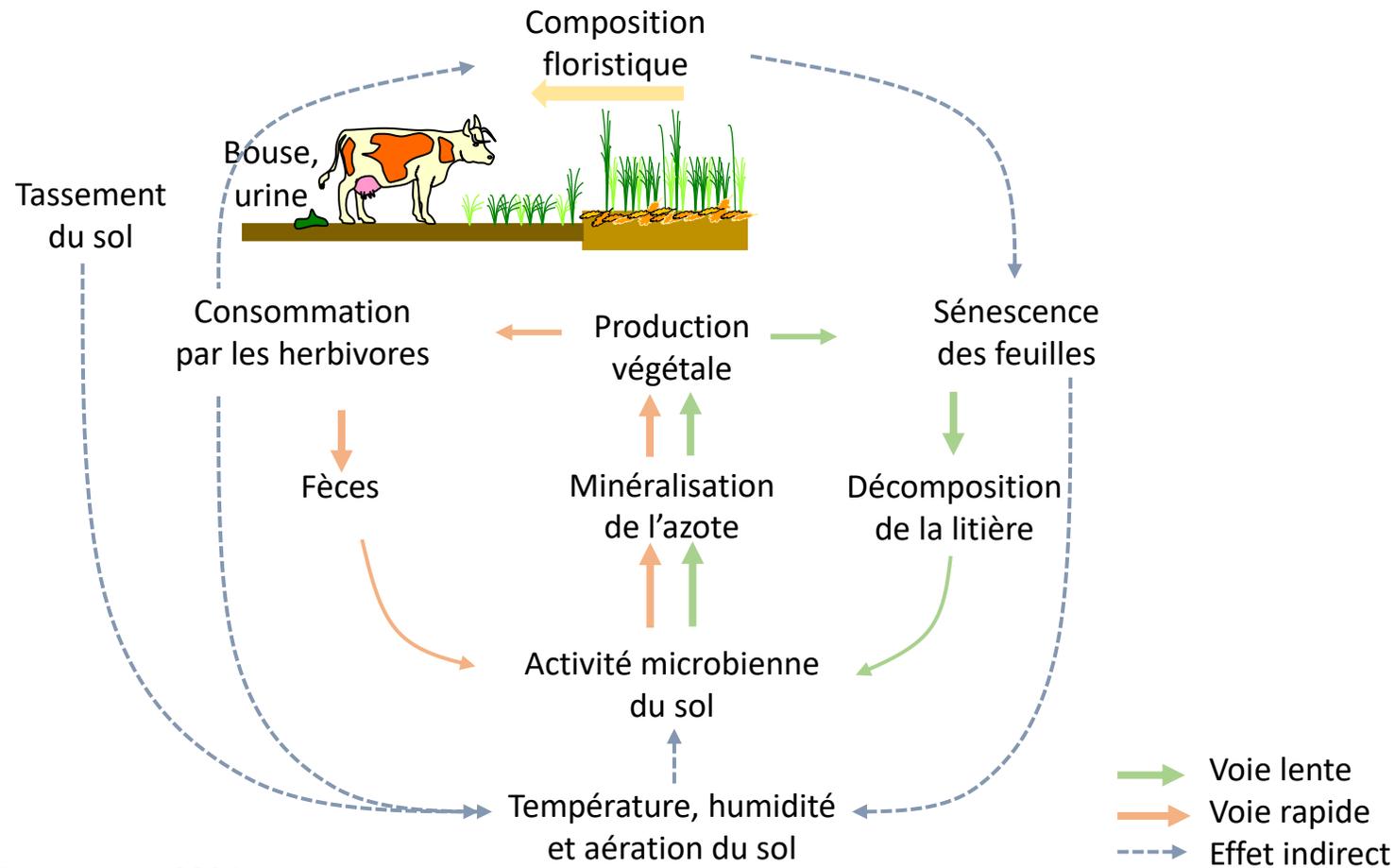


LE PÂTURAGE

- **Au niveau de la végétation**
 - Retour de la végétation sous forme plus facilement décomposable ou labile
 - 70 à 90 % de l'N ingéré est restitué sous forme de fèces ou urine (Sylveira *et al.*)
 - Risque de lessivage accru si pâturage en période de pluies
- **Au niveau de la dénitrification**
 - Pas d'effet clair sur la dénitrification: Augmente localement la dénitrification du fait de la présence localisée de C labile (urine et fèces) mais peut diminuer globalement la capacité dénitrifiante ailleurs (tassement du sol par piétinement)
 - La littérature américaine conseille une bande non pâturée entre une prairie pâturée et les cours d'eau pour limiter les risques liés au lessivage de l'N (et le transfert de pathogènes)

LE PÂTURAGE

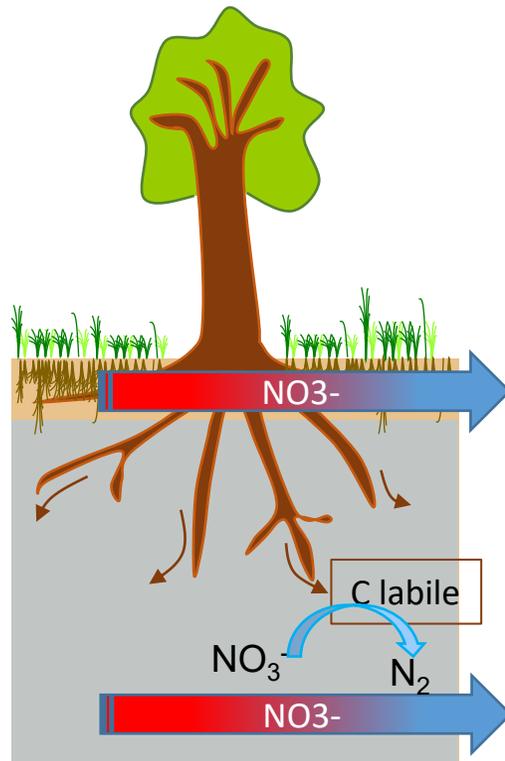
Flux d'éléments et effets indirects dans un système pâturé



D'après Bakker et al 2004

GESTION DU BOISEMENT

- Les arbres prélèvent l'N à des profondeurs différentes selon leur système racinaire
→ Des plantations diversifiées assurent une assimilation d'N sur une large gamme de profondeurs et stimulent la dénitrification en produisant des exsudats racinaires, source de C facilement utilisable par les bactéries.



- Les arbres matures assimilent moins que les arbres en pleine croissance
→ La gestion en futaie jardinée permet d'exploiter les arbres matures tout en limitant l'impact sur le sol et relance la croissance d'arbres plus jeunes
- Pas de coupe à blanc qui crée un relargage massif ponctuel d'N dans le milieu
- La présence d'une strate herbacée permet de maintenir le rôle de piège à sédiments

Soucis majeur lié à l'utilisation d'engins lors de l'exploitation du bois qui déstructure le sol

LA MISE EN CULTURE

Différence significative dans la capacité des sols à dénitrifier entre les cultures (plus faible) et les prairies, principalement liée à la porosité du sol et en profondeur au profil carboné

Saisonnalité marquée de l'assimilation (partiellement contrecarrée par des couverts hivernaux)

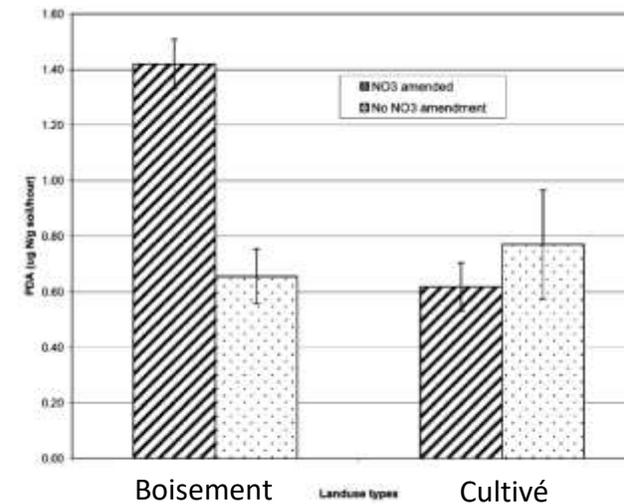
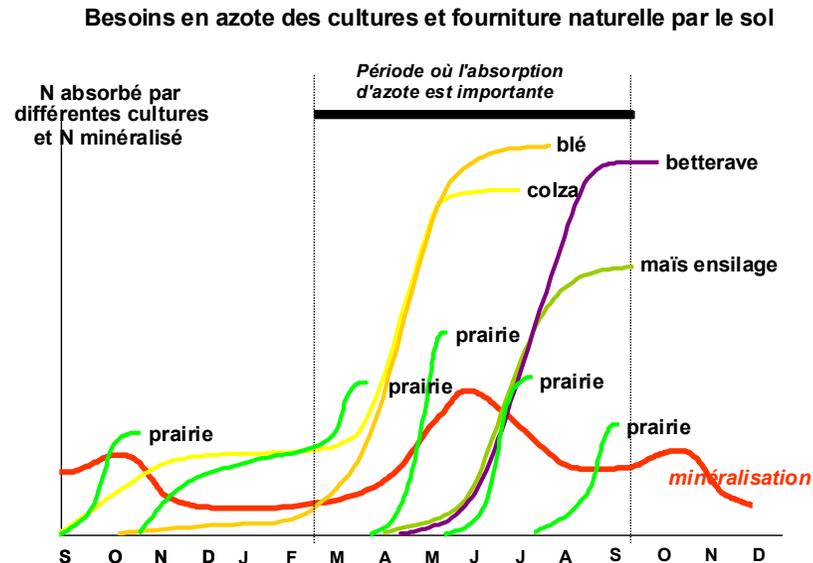
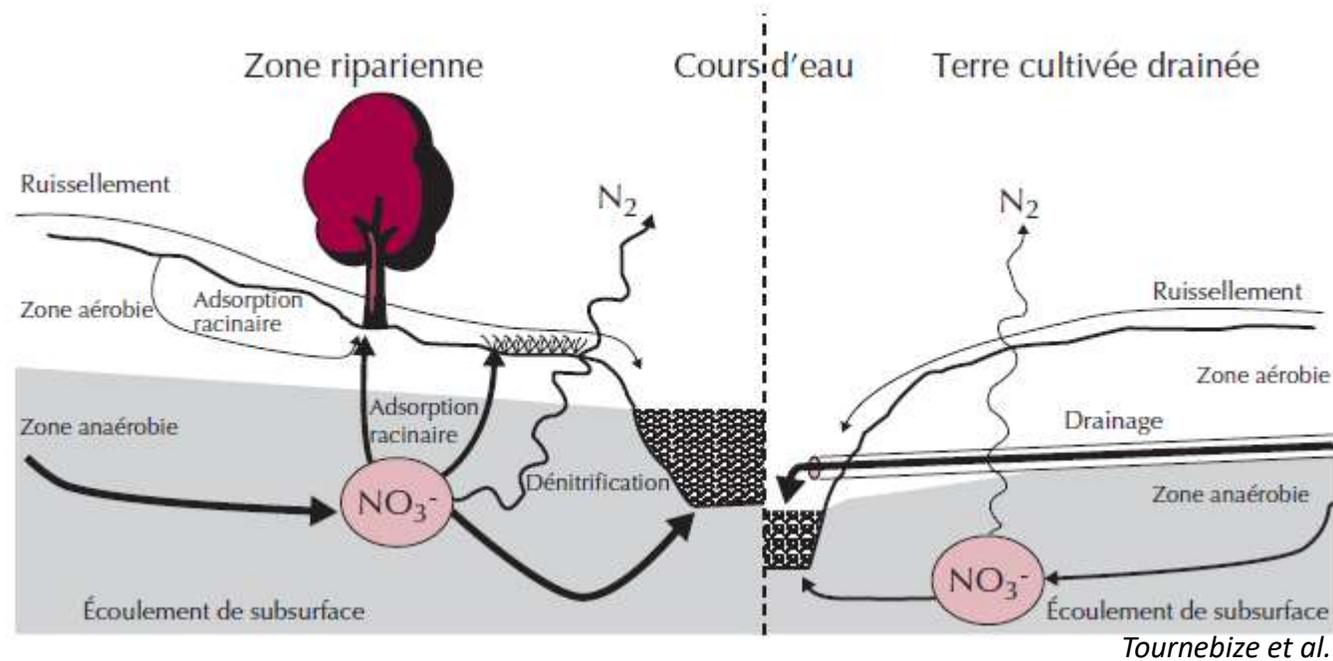


Figure 1. Denitrification potential of forested wetland and cultivated soil. Error bars represent standard error of the mean ($p < 0.05$).

Ullah et al. *Biogeochemistry* (2005) 73: 499–513

LE DRAINAGE



- Ecoulement de l'eau hors de la ZH avec un temps de transfert très court donc transfert direct de NO_3^- sans transformation.
- Diminution de la zone anaérobie donc diminution des processus de dénitrification : le toit de nappe n'atteint plus les zones riches en MO propices à la dénitrification.
- Le toit de nappe n'atteint plus les zones racinaires, donc assimilation par les plantes limitée.

SYNTHÈSE

- **Prairies**
 - **La fauche** augmente considérablement l'assimilation d'azote
 - **Le pâturage** accélère la restitution au milieu de l'azote et présente un risque de lessivage de l'azote d'autant plus important que le pâturage est intensif.
- **Boisement**
 - Permet une assimilation importante d'azote sans altérer la capacité dénitrifiante;
 - Préférer des boisements diversifiés, multi-strates
- **Cultures**
 - Limitent l'activité dénitrifiante, l'ampleur de l'assimilation et du stockage de N dans le sol.
- **Drainage**
 - Limite l'activité dénitrifiante en abaissant le toit de nappe et en diminuant le temps de séjour de l'eau dans la zone humide

FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LES PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

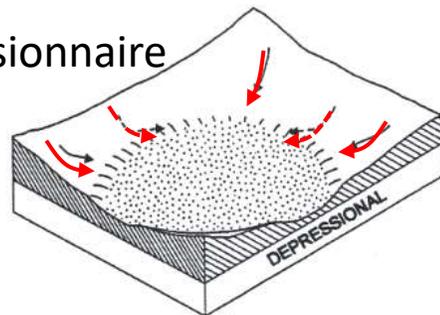
INFLUENCE DES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE

CONTEXTE HYDRO-GÉOMORPHOLOGIQUE

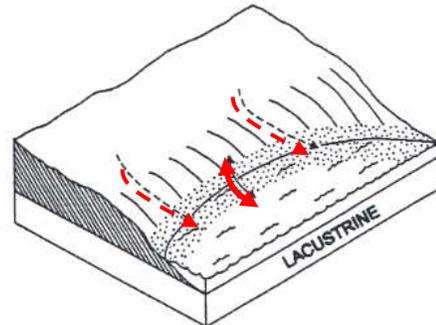
- Influence du mode de circulation de l'eau dans la zone humide

Rétention importante mais pas de connexion directe aux cours d'eau

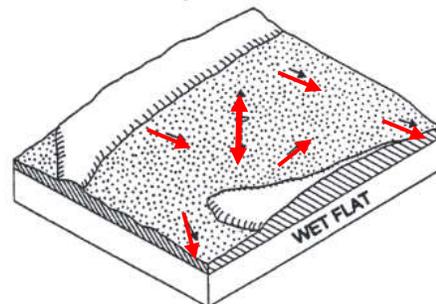
Dépressionnaire



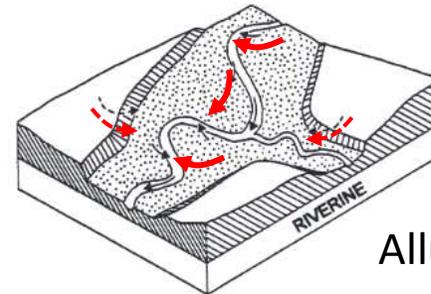
Lacustre



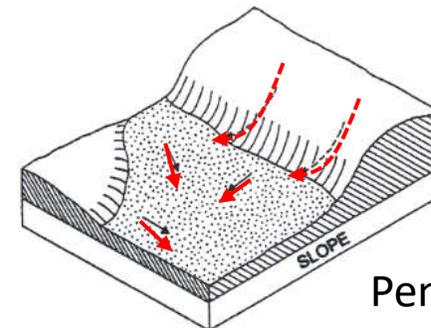
Plateau



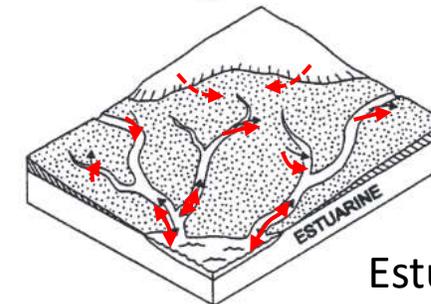
Rôle tampon entre bassin versant et cours d'eau ou zone hyporhéique



Alluviale



Pente



Estuarienne

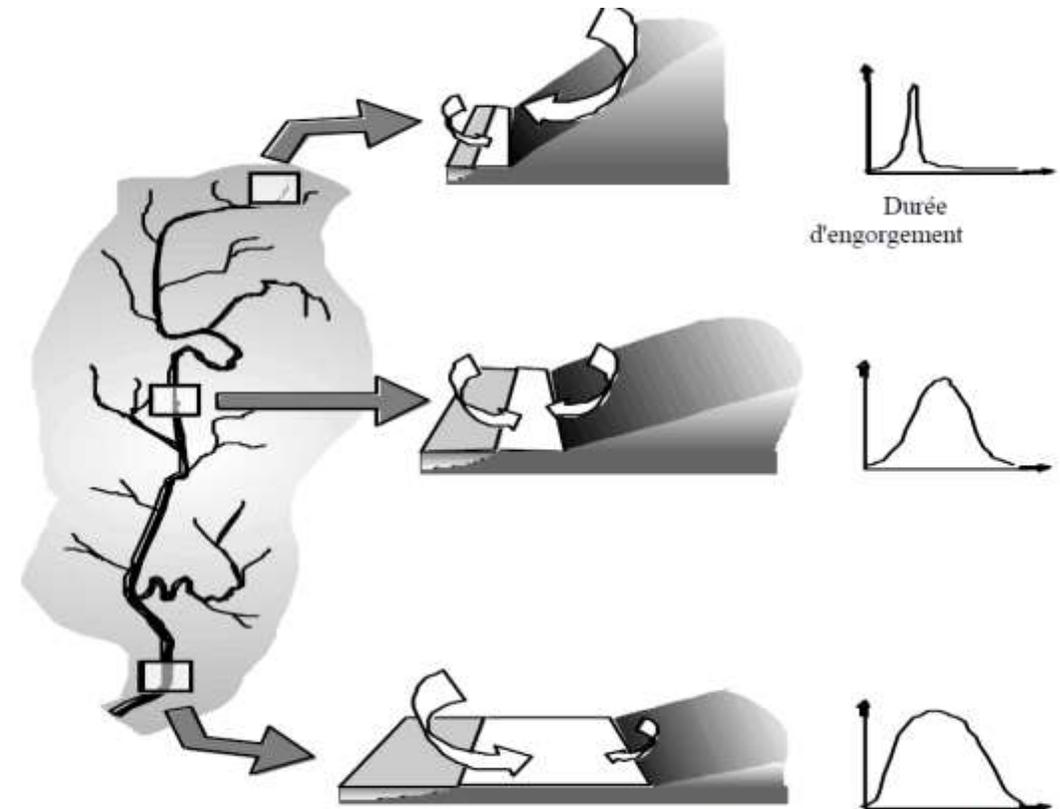
INFLUENCE DES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE

CONTEXTE HYDRO-GÉOMORPHOLOGIQUE

- Influence de la localisation dans le bassin-versant

Les zones humides en tête de bassin jouent un rôle tampon important par rapport aux apports du bassin versant et des résurgences de nappe en zone de source

Les zone humides bordant des cours d'eau de rang de Strahler supérieurs ont un rôle plus important d'épuration vis-à-vis de la nappe d'accompagnement du cours d'eau



Relations entre les ripisylves et le bassin versant en fonction de leur position dans le réseau hydrographique (Tabbachi *et al.* 1998). Les flèches symbolisent les transferts d'eau et d'éléments associés entre le versant et le cours *via* les zones humides riveraines.

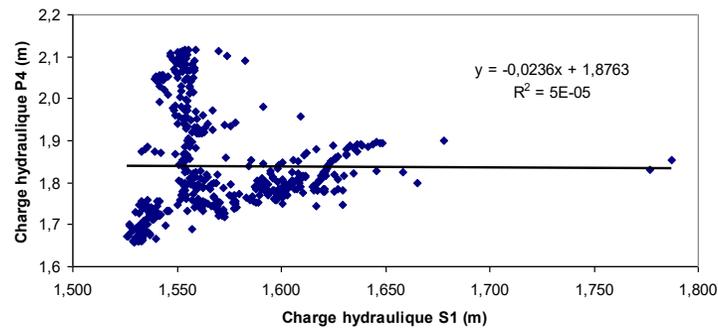
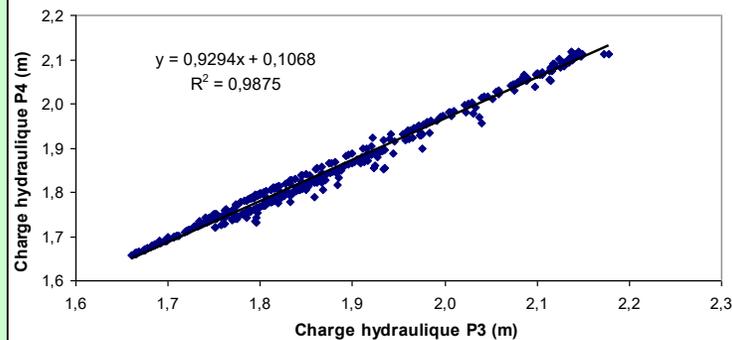
INFLUENCE DES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE

CONTEXTE HYDRO-GÉOMORPHOLOGIQUE

- Influence de la localisation dans le bassin-versant

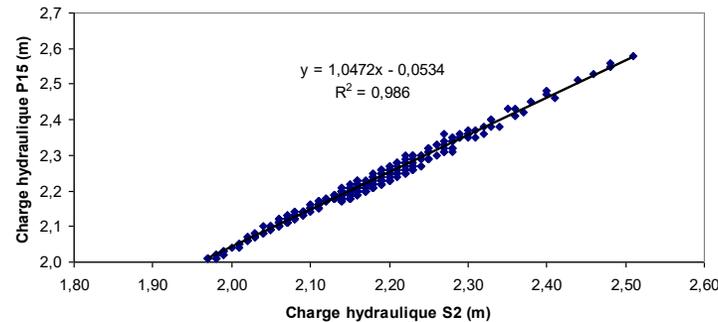
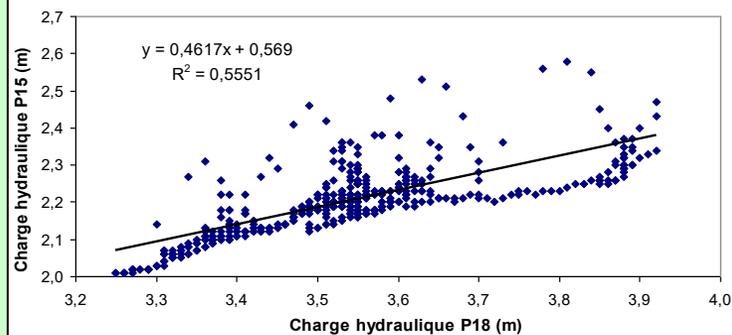
Comparaison des dynamiques temporelle de la charge hydraulique (= niveau d'eau) dans la **zone humide** et de la charge hydraulique de la **nappe en bas de versant** du niveau d'eau dans le **cours d'eau**

A l'amont



Forte connectivité hydrologique entre le versant et la zone humide à l'amont

A l'aval



Forte connectivité hydrologique entre le cours d'eau et la zone humide à l'aval

Montreuil, 2006

CONTRIBUTION GLOBALE DES ZONE HUMIDES À L'ABATTEMENT D'AZOTE À L'ÉCHELLE D'UN BASSIN VERSANT

- **Contribution des zones humides à l'abattement d'azote à l'échelle du bassin versant**

Une diminution globale de 30% en moyenne des concentrations en nitrate dans le bassin versant entre l'amont et l'aval est imputable à la présence de zones humides sur le bassin versant du Scorff (Bretagne).

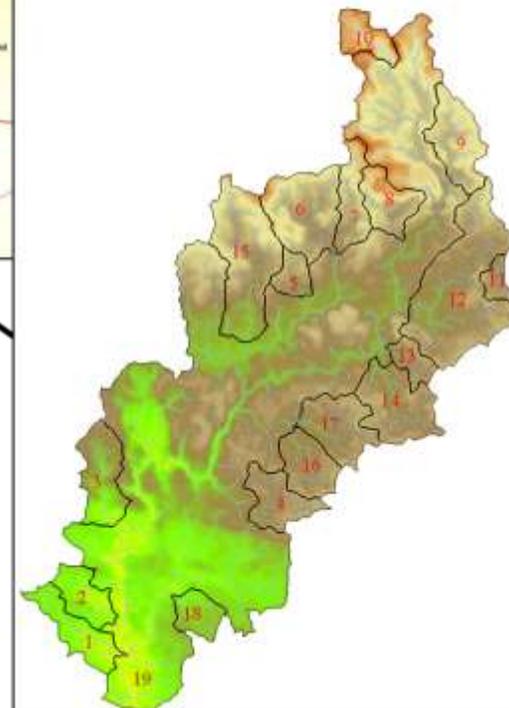
Dans le bassin versant de la Seine dans sa totalité, une valeur d'environ 50 % a été évaluée, dont 20 % imputable aux processus ayant lieu dans le fleuve et ses affluents.

CONTRIBUTION GLOBALE DES ZONE HUMIDES À L'ABATTEMENT D'AZOTE À L'ÉCHELLE D'UN BASSIN VERSANT

Évaluation du rôle épurateur des zones humides par comparaison de différents bassins versant avec des caractéristiques hydrologiques et agricoles contrastées



Carte du versant bassin du Scorff et délimitation des sous-bassins



- Bassin versant du Scorff (480 km²):

- Altitude: 0 à 274 mètres
- Granites (80%) et schistes (20%)
- Pe = 250 à 450 mm

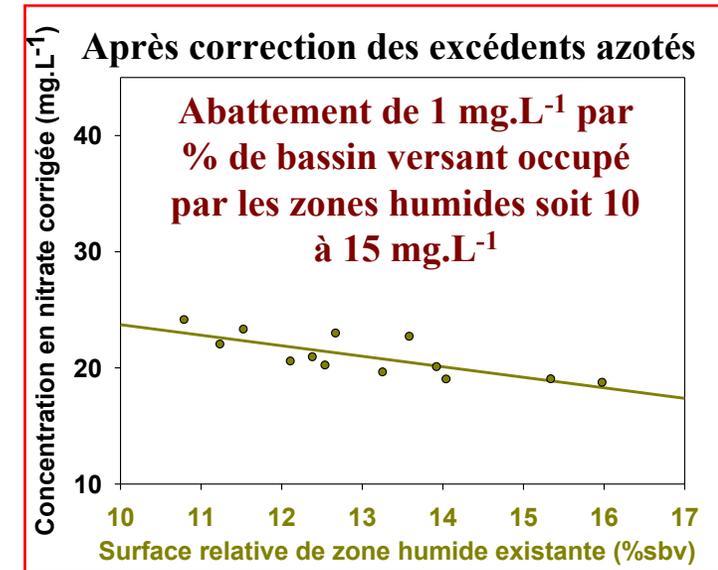
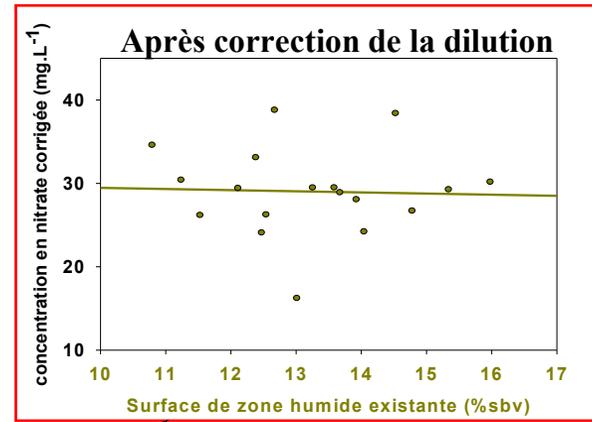
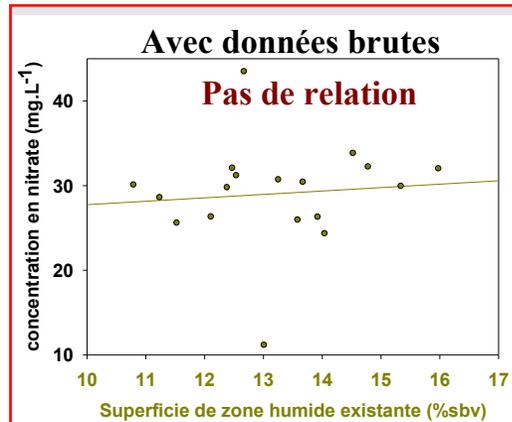
- Sous-bassins (18, 193 km²):

- Ordre de Strahler < 3
- Diversité des caractéristiques hydrochimiques, hydrologiques et agricoles

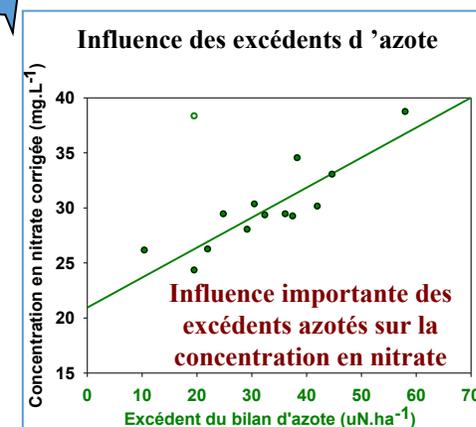
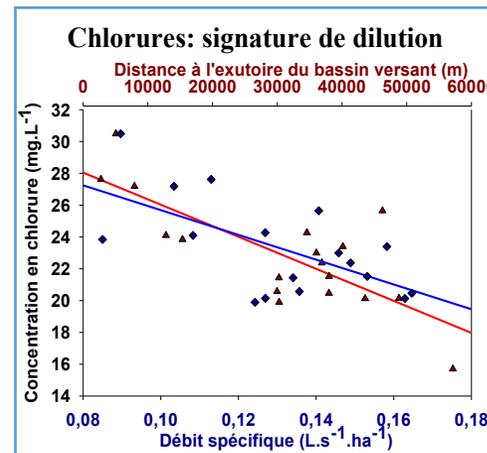
Montreuil et Mérot, 2006

CONTRIBUTION GLOBALE DES ZONE HUMIDES À L'ABATTEMENT D'AZOTE À L'ÉCHELLE D'UN BASSIN VERSANT

- Relation surface de zone humide et abattement de nitrate



Évaluation du rôle épurateur des zones humides par comparaison de différents bassins versant avec des caractéristiques hydrologiques et agricoles contrastées



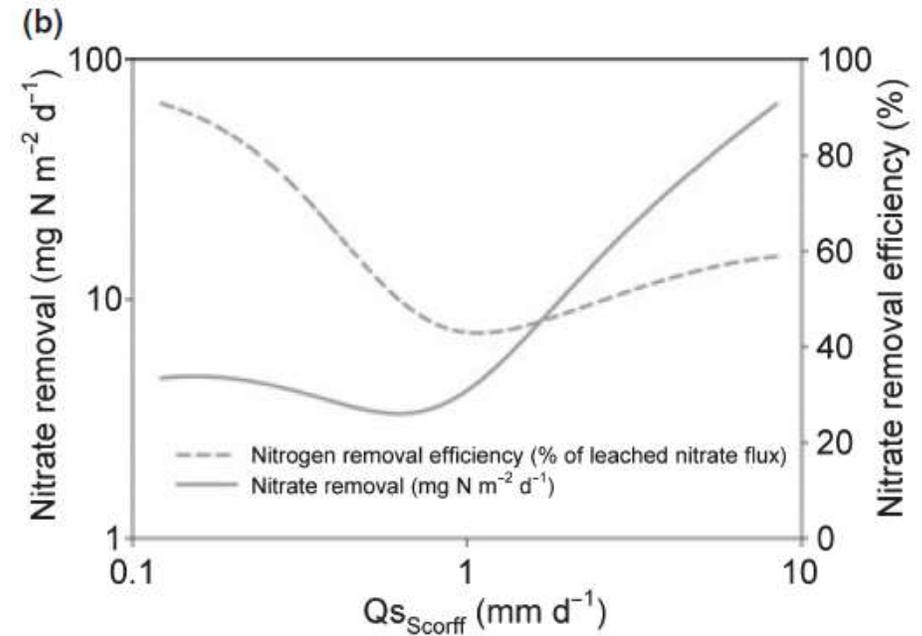
Soit de 350 à 560 kg/an pour 10 à 16 % de ZH dans un BV de 100 ha

Montreuil & Merot, 2006, J.Env.Qual.

CONTRIBUTION GLOBALE DES ZONE HUMIDES À L'ABATTEMENT D'AZOTE À L'ÉCHELLE D'UN BASSIN VERSANT

- Relation débit et abattement d'azote

Quantité de nitrate retenu (trait plein) et efficacité de rétention (% du flux entrant – trait hachuré) en fonction du débit sur le bassin versant du Scorff ($Q_{S_{\text{Scorff}}}$)



- A l'été, les zones humides retiennent une proportion plus élevée du flux entrant de nitrate entrant, allant jusque 91%.
- Cette proportion diminue avec l'augmentation des débits (40 à 60 %), mais la quantité de nitrates transportés étant très supérieure à celle transportée à l'été, cela résulte tout de même en une quantité retenue supérieure en période hivernale.

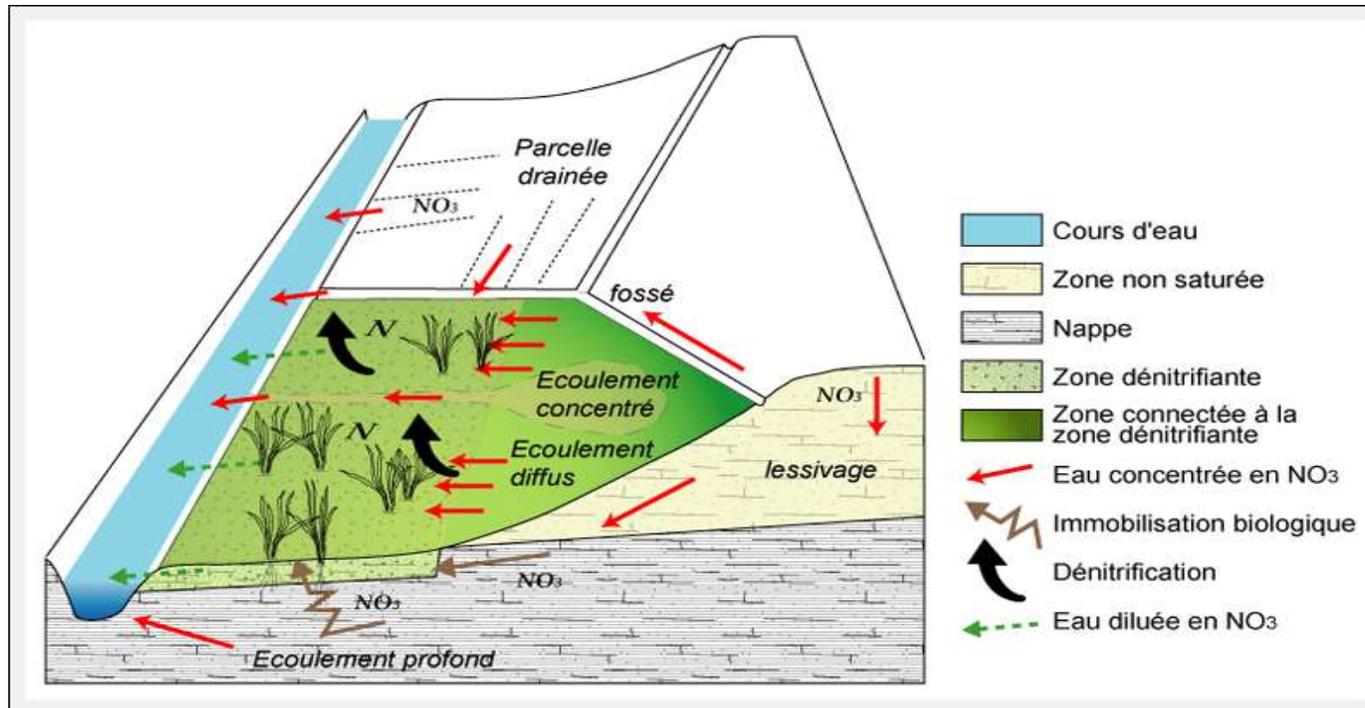
Montreuil et al. 2010

ÉLÉMENTS DU PAYSAGE INFLUENÇANT LES FLUX D'AZOTE

- **Les courts-circuits**

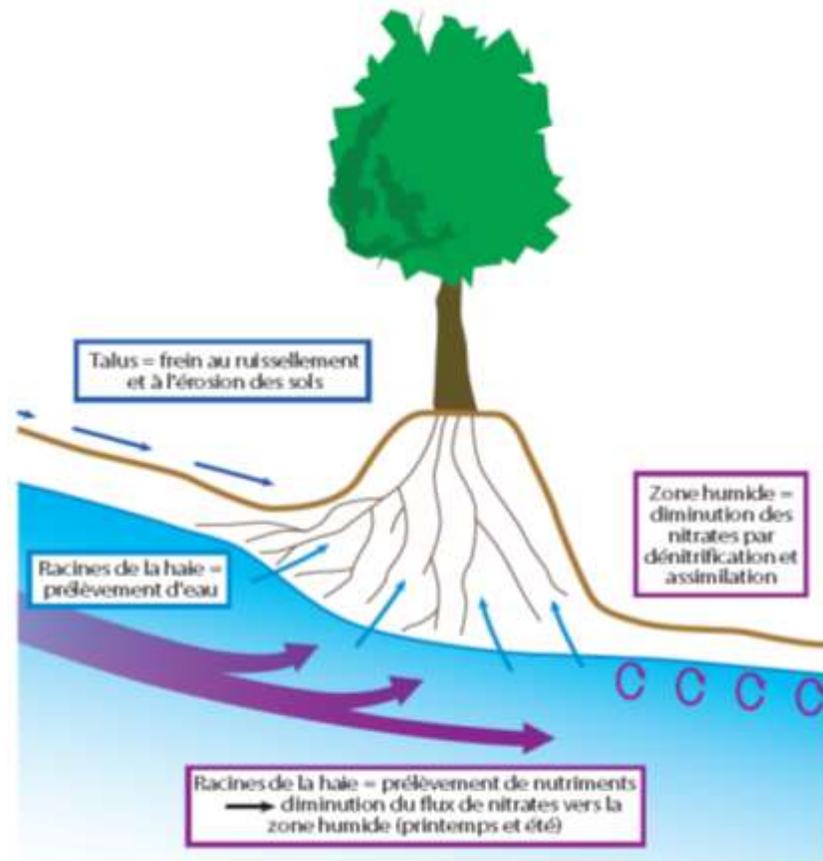
Éléments du paysage créant un écoulement préférentiel ne permettant pas à l'eau de diffuser dans la zone humide

Exemples: fossés, drains enterrés, haies mal placées ...



ÉLÉMENTS DU PAYSAGE INFLUENÇANT LES FLUX D'AZOTE

- Les haies sur talus



Elles permettent de:

- Freiner le ruissellement et donc les pertes d’N par érosion
- Abaisser temporairement la nappe d’eau par évapotranspiration donc peut favoriser les processus aérobie dans la zone humide en été
- Abaisser la teneur en nitrate en entrée de zone humide limitant les risques de saturation du milieu

Guide technique d'aménagement et de gestion des zones humides, Conseil général du Finistère, 2012

INFLUENCE DES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE

ÉLÉMENTS DU PAYSAGE INFLUENÇANT LES FLUX D'AZOTE

- **Les haies sur talus**

Illustration de l'action des haie sur la dynamique de l'eau et les flux d'N en abord de zone humide

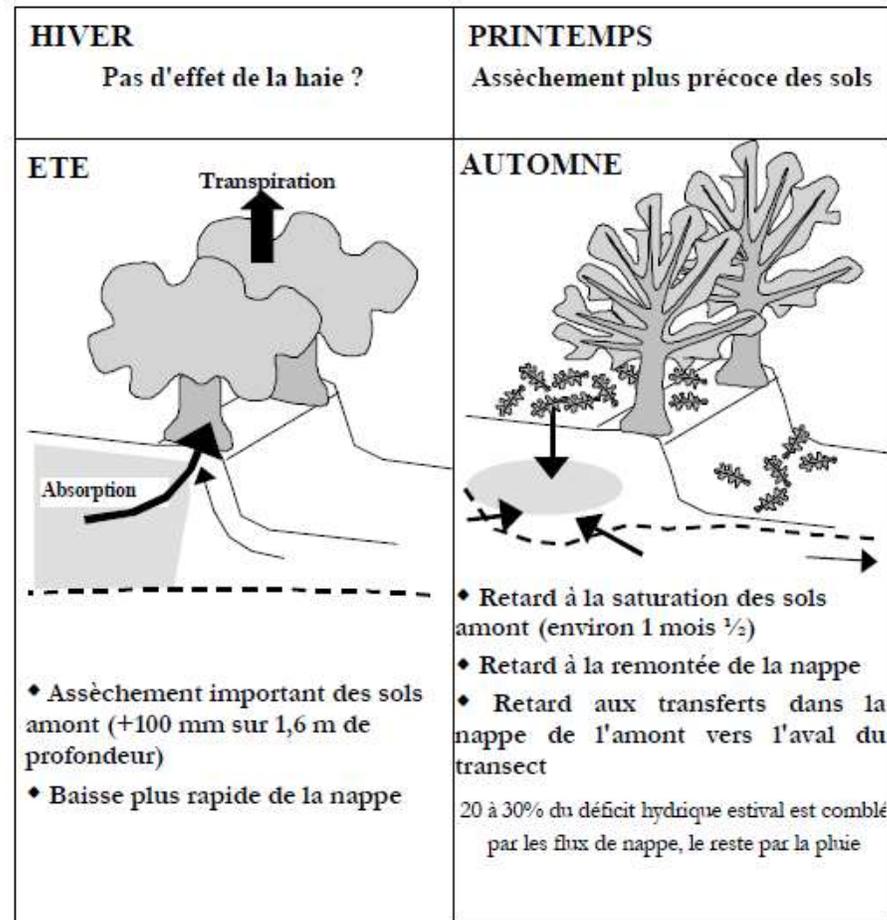


Figure 3.25 : Résumé de l'influence de la haie sur la dynamique hydrique des sols et sur les transferts d'eau du versant vers la zone humide.

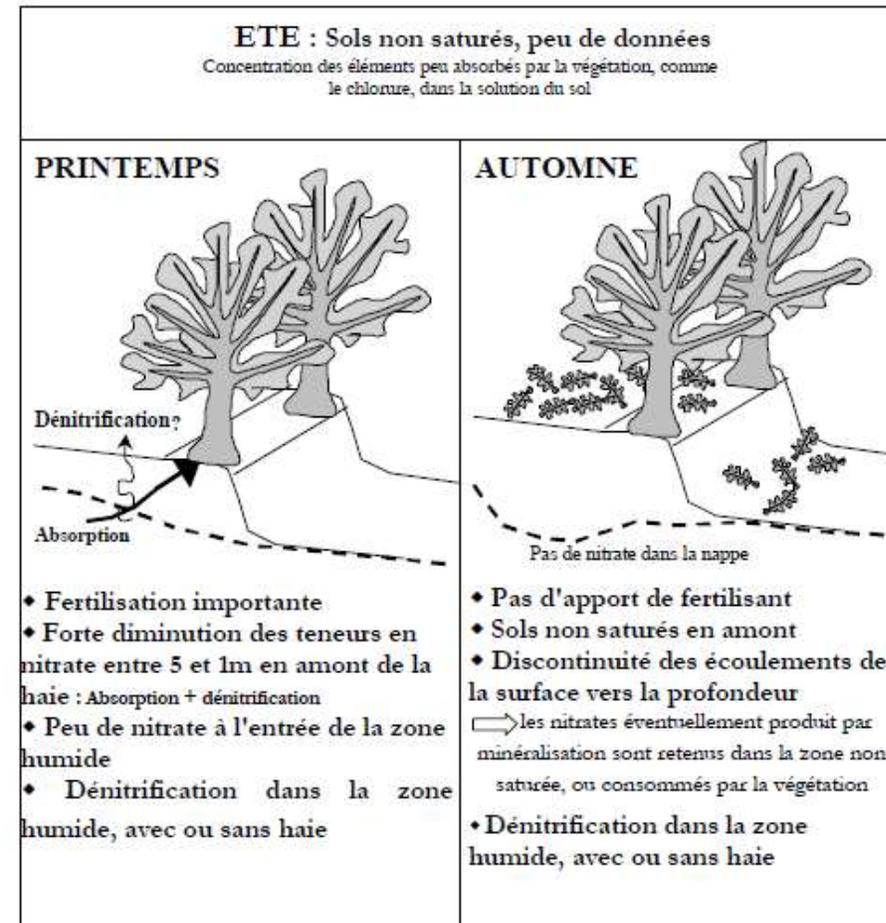


Figure 4.30 : Résumé de l'influence de la haie sur la dynamique et le transfert du nitrate dans la nappe.

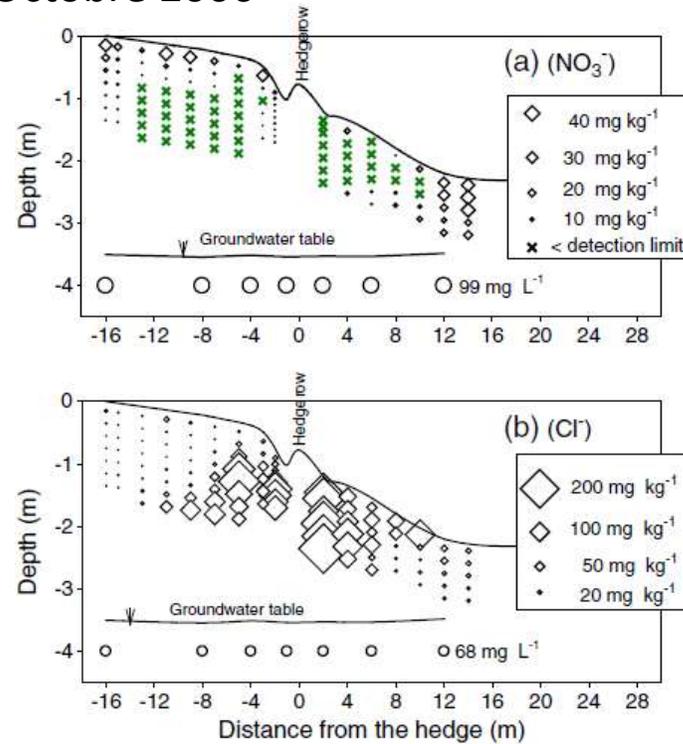
INFLUENCE DES ÉLÉMENTS DU PAYSAGE

ÉLÉMENTS DU PAYSAGE INFLUENÇANT LES FLUX D'AZOTE

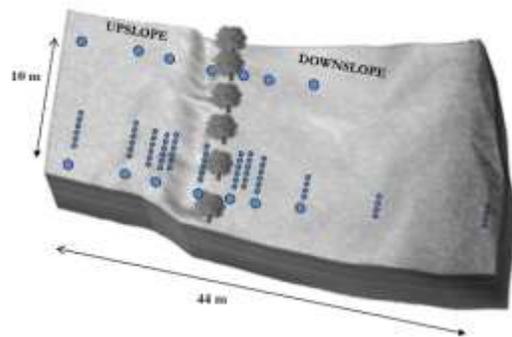
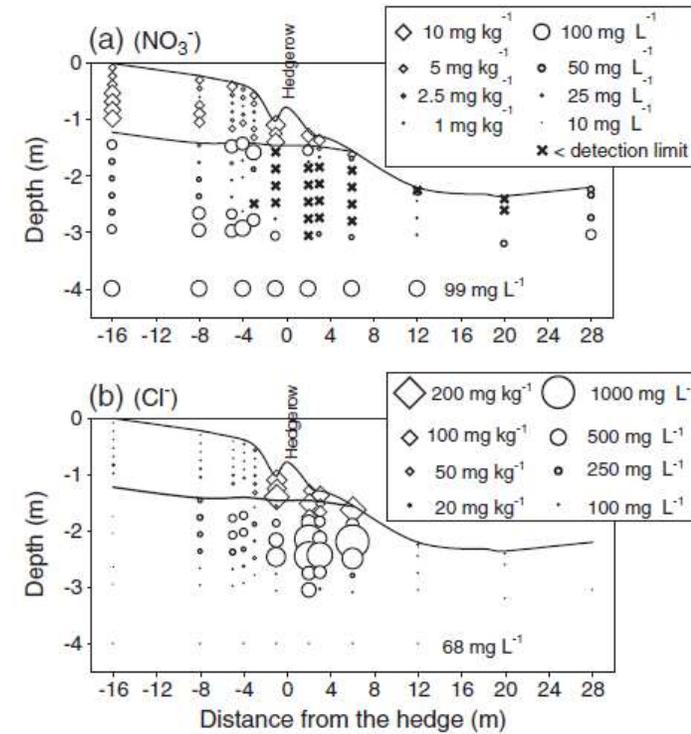
- Les haies sur talus

Illustration: Evolution des concentrations de NO_3^- et Cl^- de part et d'autre d'une haie de chênes

Octobre 2006



Avril 2007



FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LES PROCESSUS D'ABATTEMENT DE L'AZOTE

EVALUER LE POTENTIEL D'ABATTEMENT
D'UNE ZONE HUMIDE

FACTEURS A RECHERCHER POUR S'ASSURER D'UN ABATTEMENT OPTIMAL D'AZOTE

- Une interface bassin versant – zone humide importante
- La présence de haies en amont de la zone humide perpendiculaire à la pente
- Des concentrations moyennes en nitrate en entrée de zone humide
- Un temps de résidence long de l'eau dans la zone humide
- Une nappe d'eau fluctuante près de la surface
- Un sol riche en matière organique
- Une végétation diversifiée, exploitée avec export (bois ou prairie de fauche)

EVALUATION DU POTENTIEL D'ABATTEMENT D'UNE ZH

UTILISER LES OUTILS EXISTANTS

Outil d'aide au diagnostic Territ'eau

Grille de qualification de la dénitrification à l'échelle de la zone humide

Limite zone humide - versant (rupture de pente)	Apport d'eau dans la zone humide	Végétation naturelle eutrophe +	Prairie		Culture -	Végétation oligotrophe
			Fauchée ou pâturée occasionnellement Apports d'engrais azoté < 50u	Fauchée et ferti > 50u Ou pâturée extensif		
Haie continue +	Pas de court-circuit +	+++	+++	++-	++-	Zone humide à conserver pour sa valeur patrimoniale
	Court-circuit -	+++	+++	+-	+-	
Haie discontinue ou absente -	Pas de court-circuit +	-++	-++	-+-	-+-	
	Court-circuit -	--+	--+	---	---	

+++ : Très bien gérée (code couleur vert), +++, -++, +- : gestion à améliorer (jaune), +- : +- : gestion à revoir (orange), ---, mauvaise gestion / nitrate (rouge).

Le code couleur associé à chaque zone est utilisé pour la restitution sous forme de carte.

http://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/Outils_d_analyse_du_paysage/denitZH.asp

Aide à l'interprétation: Facteurs influençant l'abatement de l'azote d'une zone humide

- Liés au bassin-versant

- Interface bassin versant – zone humide **Importante** Réduite
- Présence de haies perpendiculaires à la pente **Continues** Discontinues Absente
- Court circuit d'eau **Non** Oui

- Facteurs liés à la pédologie et à la nappe

- Nappe dans l'horizon organique ou organo-minéral **En continu** De façon temporaire Jamais
- Circulation de l'eau **Lente** Rapide Préférentielle en surface
- Profils pédologiques **De type VI et H (GEPPA, 1981)** De type V ou IV d
- Drainage **Aucun** Drains enterrés ou fossés

- Facteurs liés à la gestion

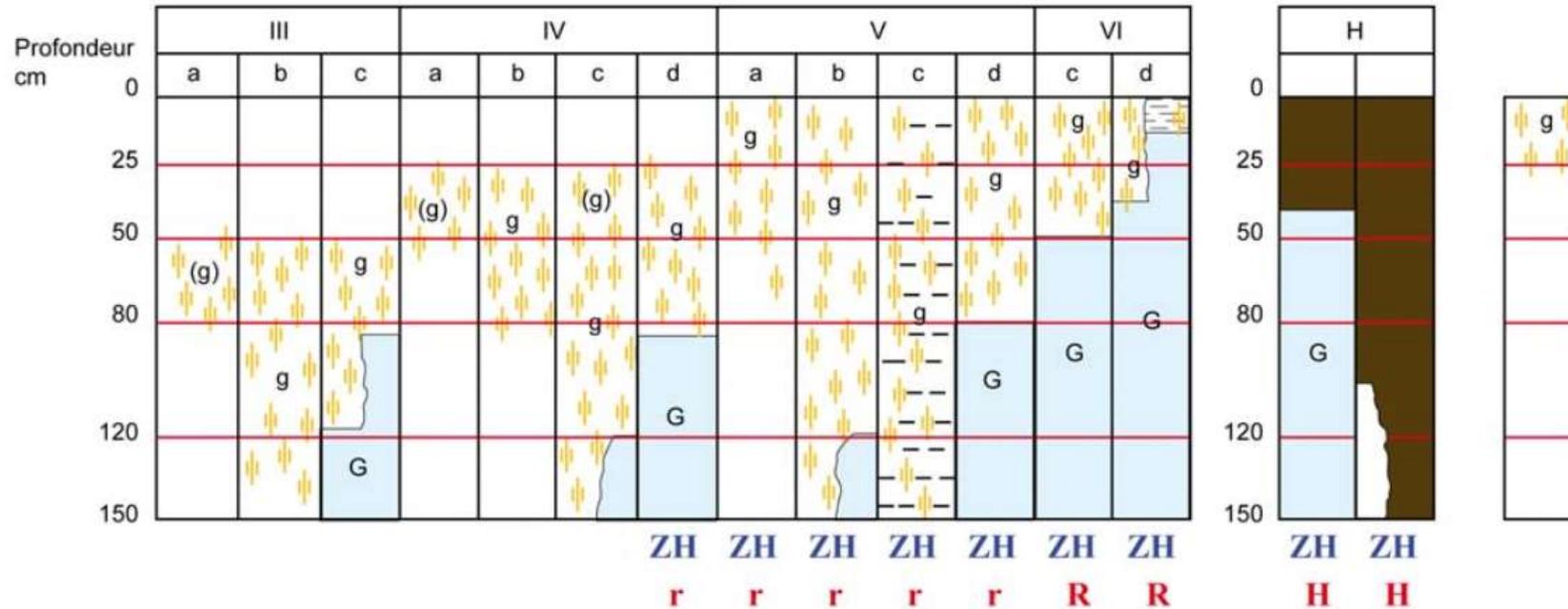
- **Culture** Culture sans labour
- Pâturage extensif ▪ Pâturage intensif
- Prairie non gérée
- Prairie fauchée
- Boisement multi-strate exploitée (futaie jardinée)
- Boisement multi-strate non exploitée
- Friche

Les plus favorables

Effet positif
Effet négatif modéré
Effet négatif important

EVALUATION DU POTENTIEL D'ABATTEMENT D'UNE ZH

Pour rappel



Morphologie des sols correspondant à des "zones humides" (ZH)

- (g) caractère rédoxique peu marqué (pseudogley peu marqué)
- g caractère rédoxique marqué (pseudogley marqué)
- G horizon réductique (gley)
- H Histosols** **R Réductisols**
- r Rédoxisols (rattachements simples et rattachements doubles)**

d'après Classes d'hydromorphie du Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA, 1981)

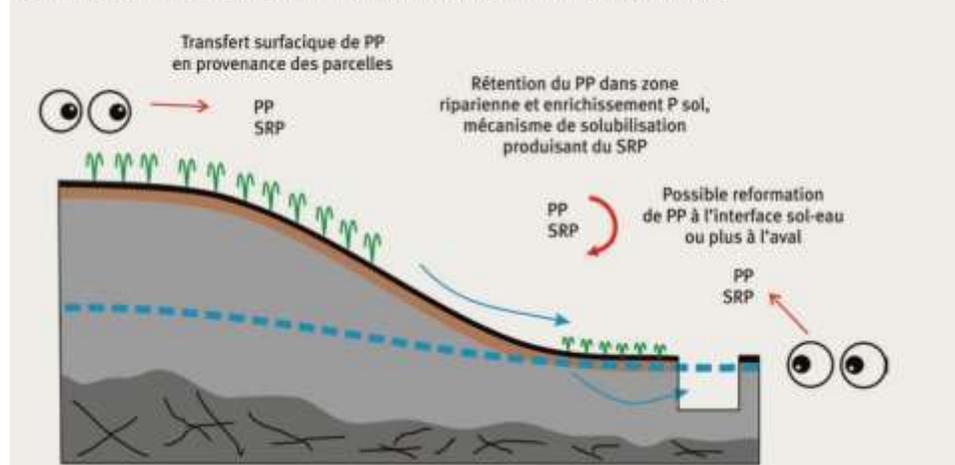
FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

ÉLÉMENTS SUR LE CYCLE DU PHOSPHORE

Transfert de phosphore dissous

Les travaux de l'INRAE montrent que les zones humides ripariennes peuvent agir comme transformateurs de P particulaire en P dissous qui est transféré vers le cours d'eau

Si la composante particulaire est dominante au départ (érosion des parcelles) et à l'arrivée (flux dans les cours d'eau) du continuum de transfert du phosphore dans les paysages agricoles, la composante dissoute joue un rôle central au niveau des zones humides ripariennes, à l'interface entre versants et cours d'eau. SRP : P réactif soluble ; PP : P particulaire.



Deux périodes majeures de transfert :

- En début d'hiver, au moment de la remise en charge de la nappe d'eau → mobilisation d'un stock de P mobile lié probablement à la lyse bactérienne et la décomposition de la matière organique
- En fin d'hiver du fait de l'augmentation de l'anoxie menant à la dissolution réductrice des oxydes de fer en absence de nitrate (pool déjà dénitrifié) entraînant la libération de phosphore adsorbé

ÉLÉMENTS SUR LE CYCLE DU PHOSPHORE

Ces processus sont d'autant plus importants que les sols sont riches en P

1^{er} processus dominant dans les zones humides montrant de fortes fluctuations de niveau de nappe

2^{ème} processus dominant dans les zones à forte stagnation d'eau

Pour les prévenir au maximum

- ➔ Eviter l'accumulation de P particulaire d'origine agricole dans les zones humides :
- En mettant en place des talus de ceinture
 - En limitant les intrants et luttant contre l'érosion dans les parcelles amonts
 - Idéalement, en privilégiant des prairies en amont des zones humides
 - Exporter la matière organique des zones humides enrichies pour appauvrir les sols en P

Remarque :

Le relargage de P suite à la restauration hydrologique d'une zone humide suit les mêmes processus et est transitoire. Il dépend de la teneur du sol en P

FONCTIONNEMENT BIOGÉOCHIMIQUE

LIEN ENTRE CYCLES DE L'AZOTE, DU CARBONE ET DU PHOSPHORE

ORDRE D'UTILISATION DES DONNEURS D'ÉLECTRONS EN ZONE SATURÉE

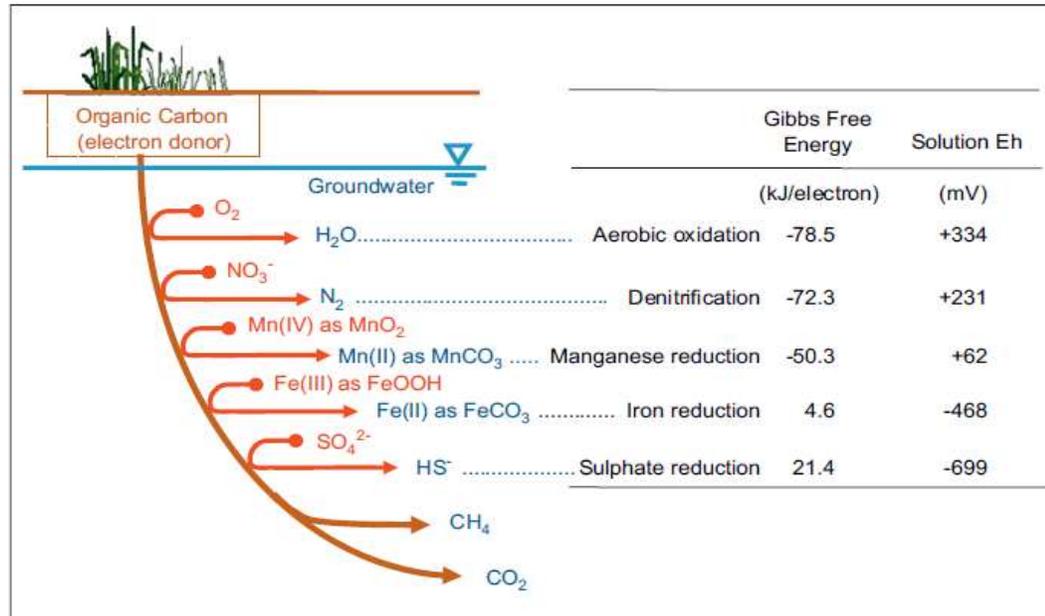
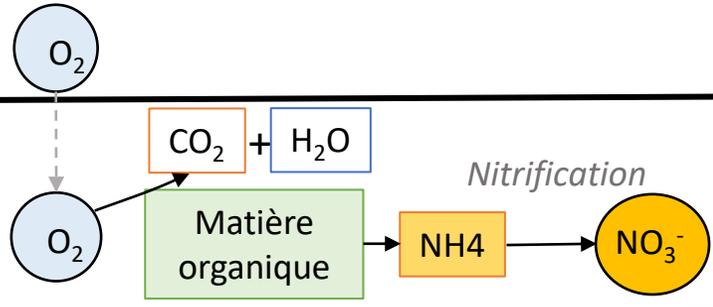


Fig. 1 – Thermodynamic sequence of electron acceptors for oxidation of organic carbon in the saturated zone (adapted from Korom, 1992).

Issus de Rivett et al. 2008

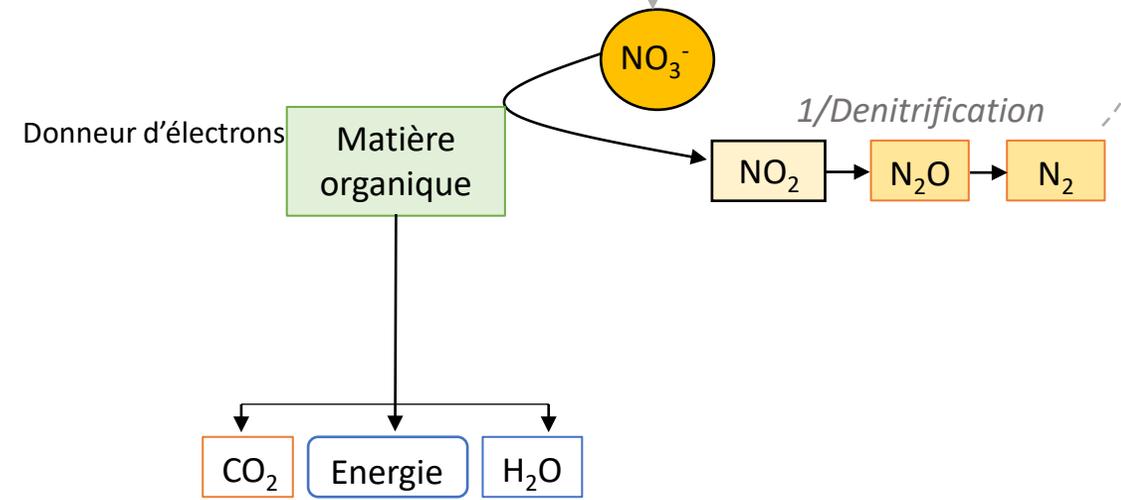
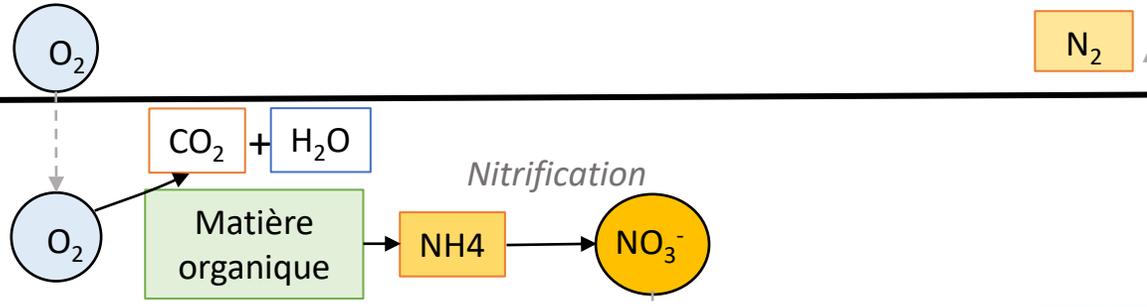
Air

Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie



Air

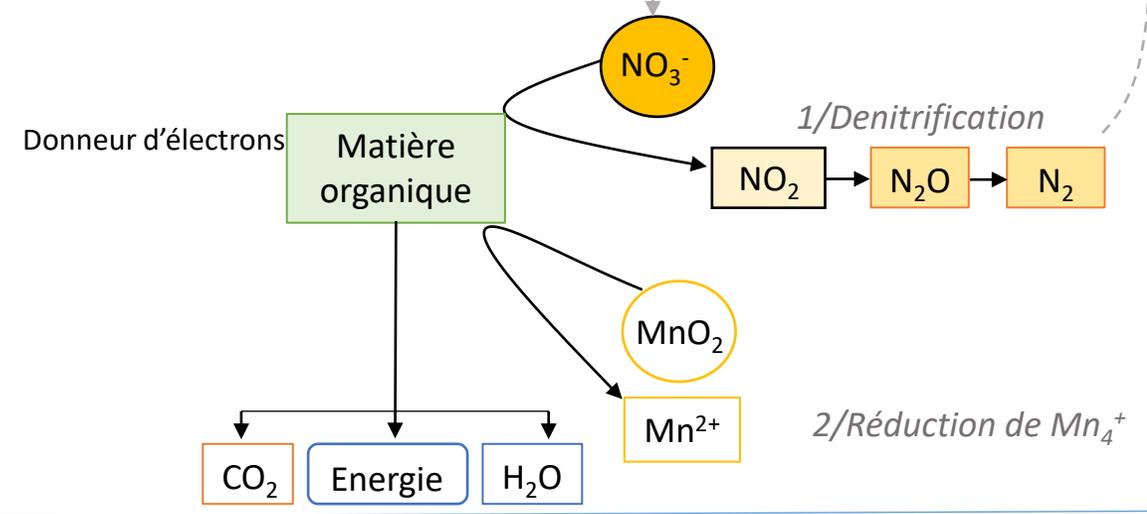
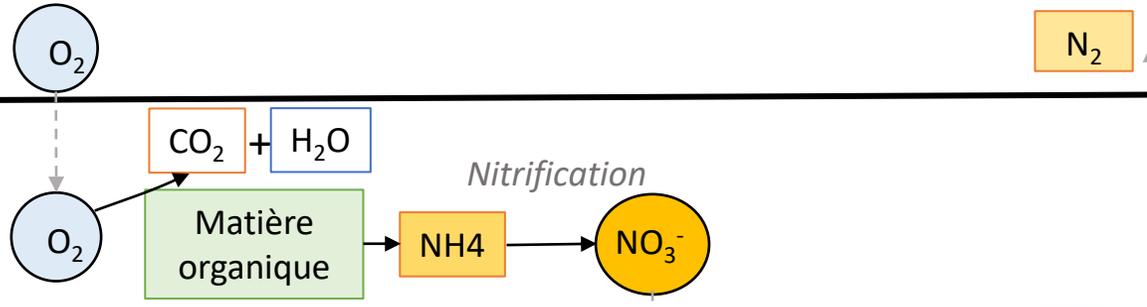
Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie



Zone II
- 100 mV < Eh < 300 mV
Respiration anaérobie facultative

Air

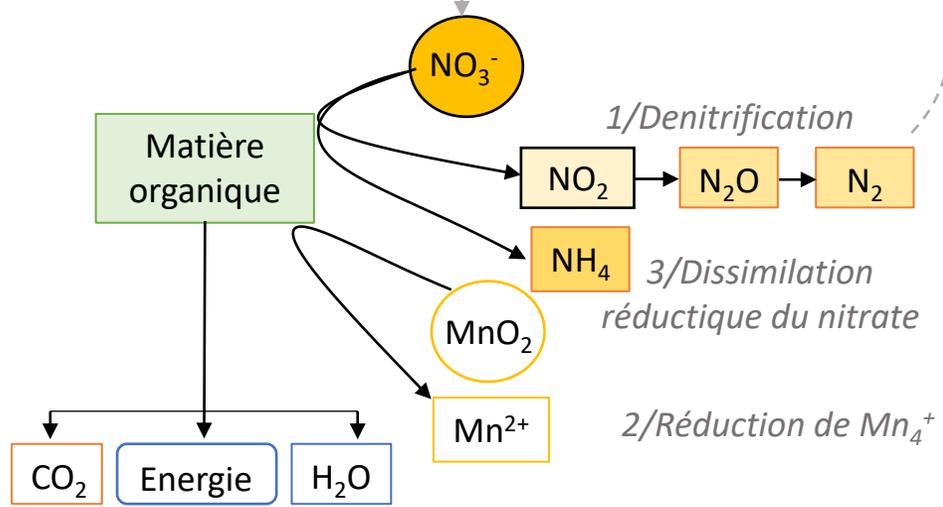
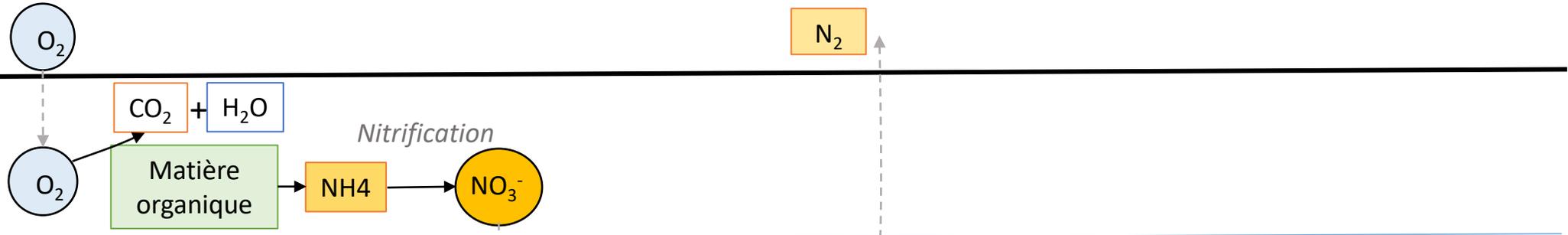
Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie



Zone II
- 100 mV < Eh < 300 mV
Respiration anaérobie facultative

Air

Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie

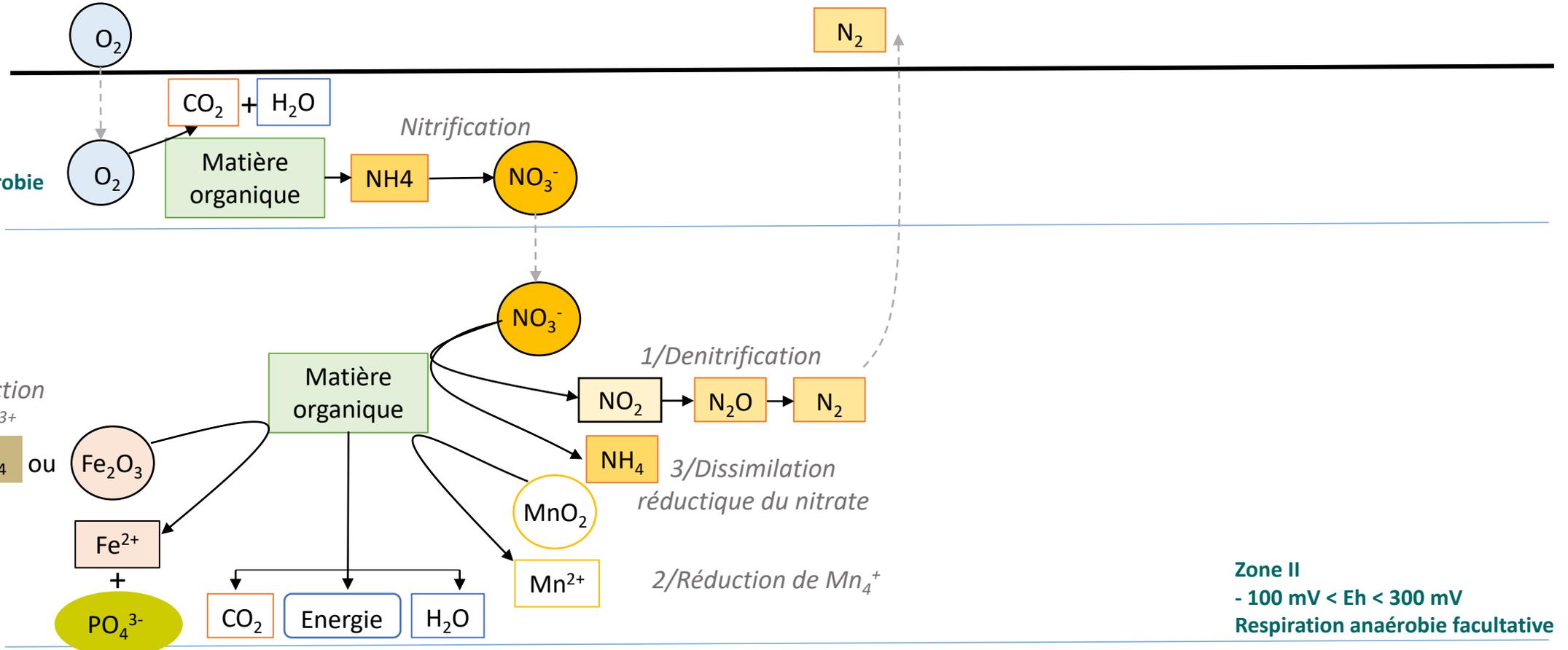
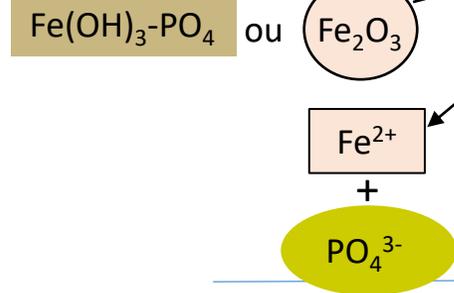


Zone II
- 100 mV < Eh < 300 mV
Respiration anaérobie facultative

Air

Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie

4/Réduction
de Fe^{3+}
 $Fe(OH)_3-PO_4$ ou Fe_2O_3



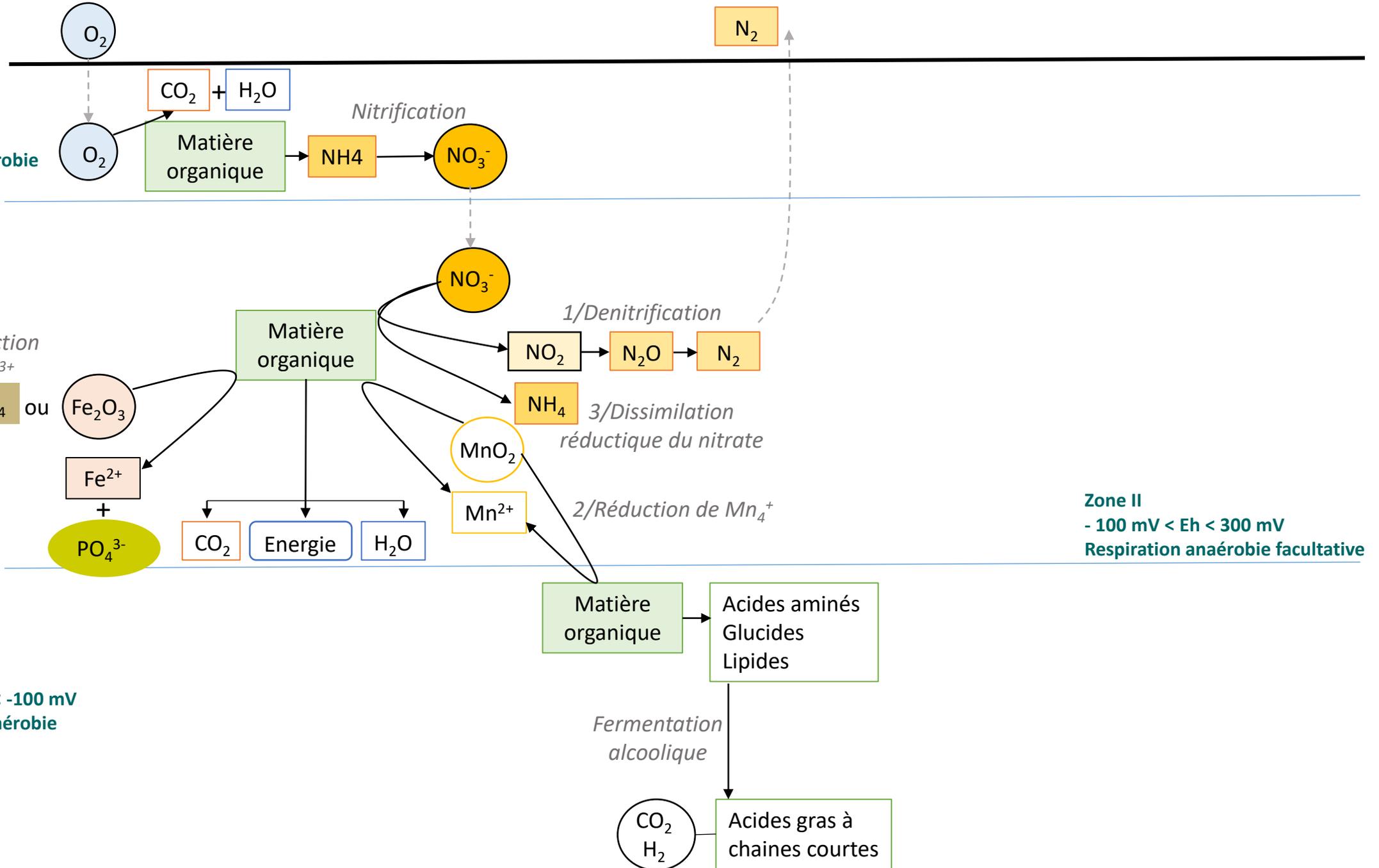
Zone II
- 100 mV < Eh < 300 mV
Respiration anaérobie facultative

Air

Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie

4/Réduction
de Fe³⁺
Fe(OH)₃-PO₄ ou Fe₂O₃

Zone III
- 300 mV < Eh < -100 mV
Respiration anaérobie



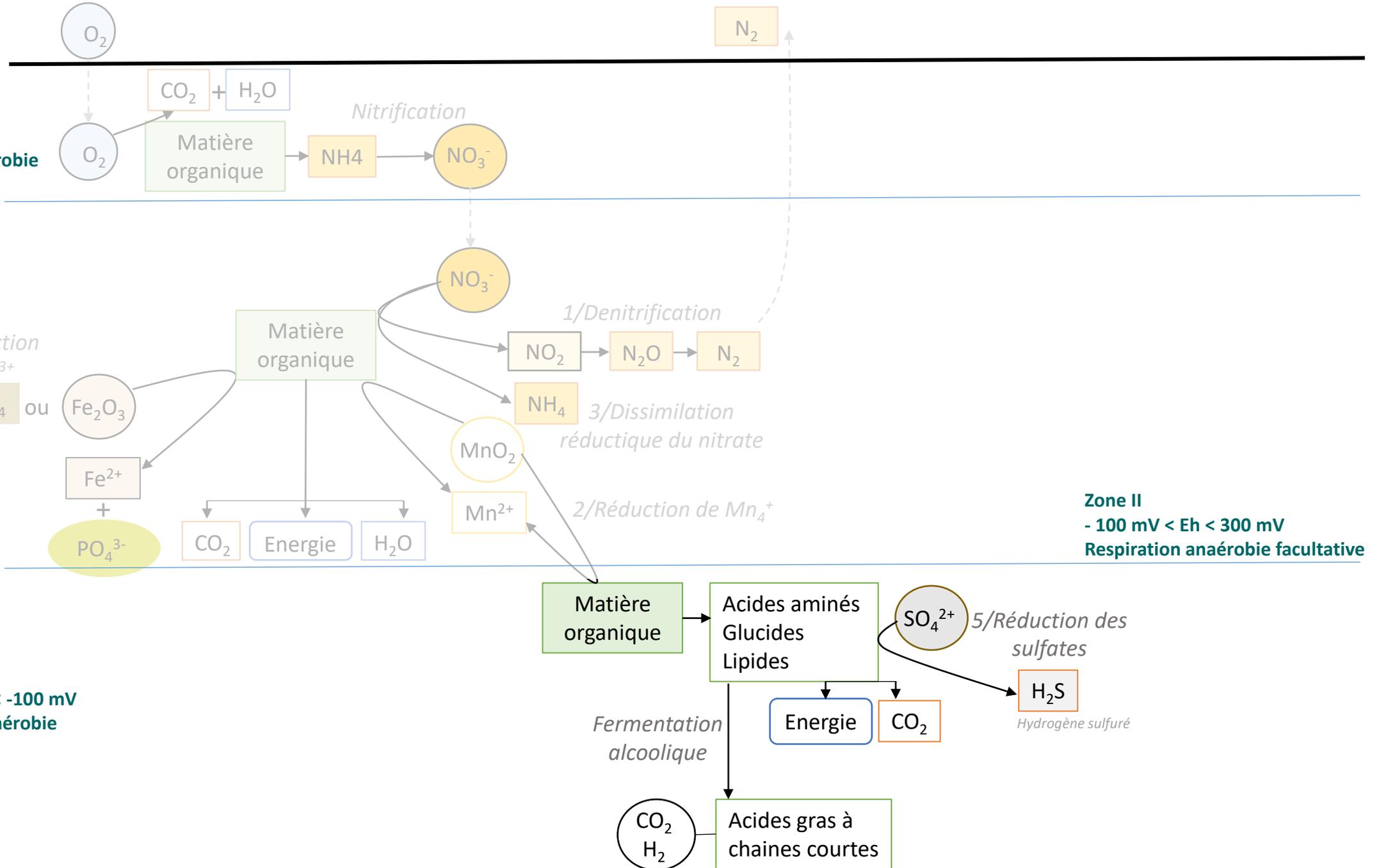
Zone II
- 100 mV < Eh < 300 mV
Respiration anaérobie facultative

Air

Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie

4/Réduction
de Fe³⁺
Fe(OH)₃-PO₄ ou Fe₂O₃

Zone III
- 300 mV < Eh < -100 mV
Respiration anaérobie



Zone II
- 100 mV < Eh < 300 mV
Respiration anaérobie facultative

Matière organique → Acides aminés, Glucides, Lipides → Energie, CO₂, H₂S (Hydrogène sulfuré)

Fermentation alcoolique → CO₂, H₂ → Acides gras à chaînes courtes

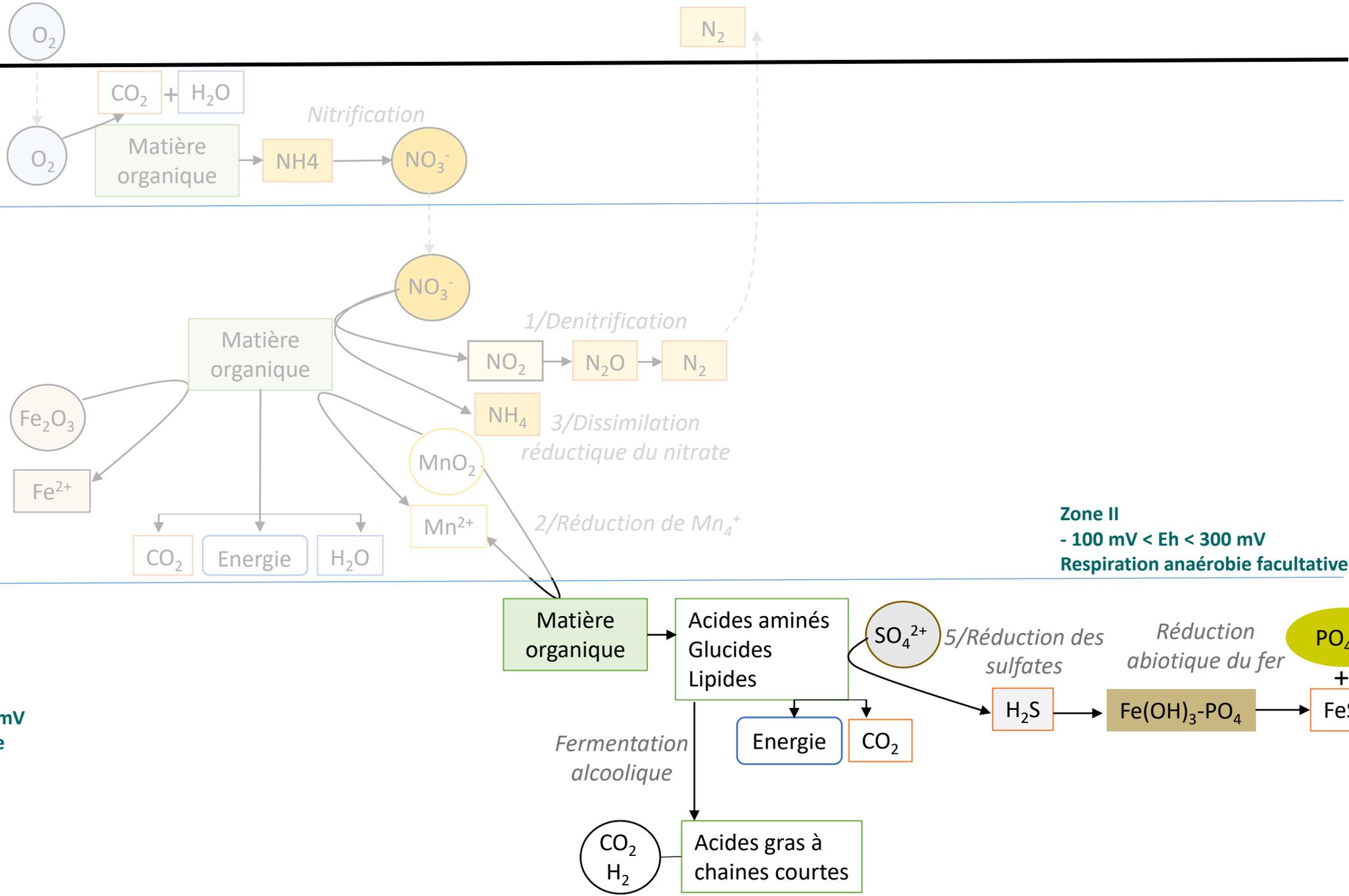
Air

Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie

4/Réduction de Fe³⁺

Fe(OH)₃-PO₄ ou Fe₂O₃

Zone III
- 300 mV < Eh < -100 mV
Respiration anaérobie

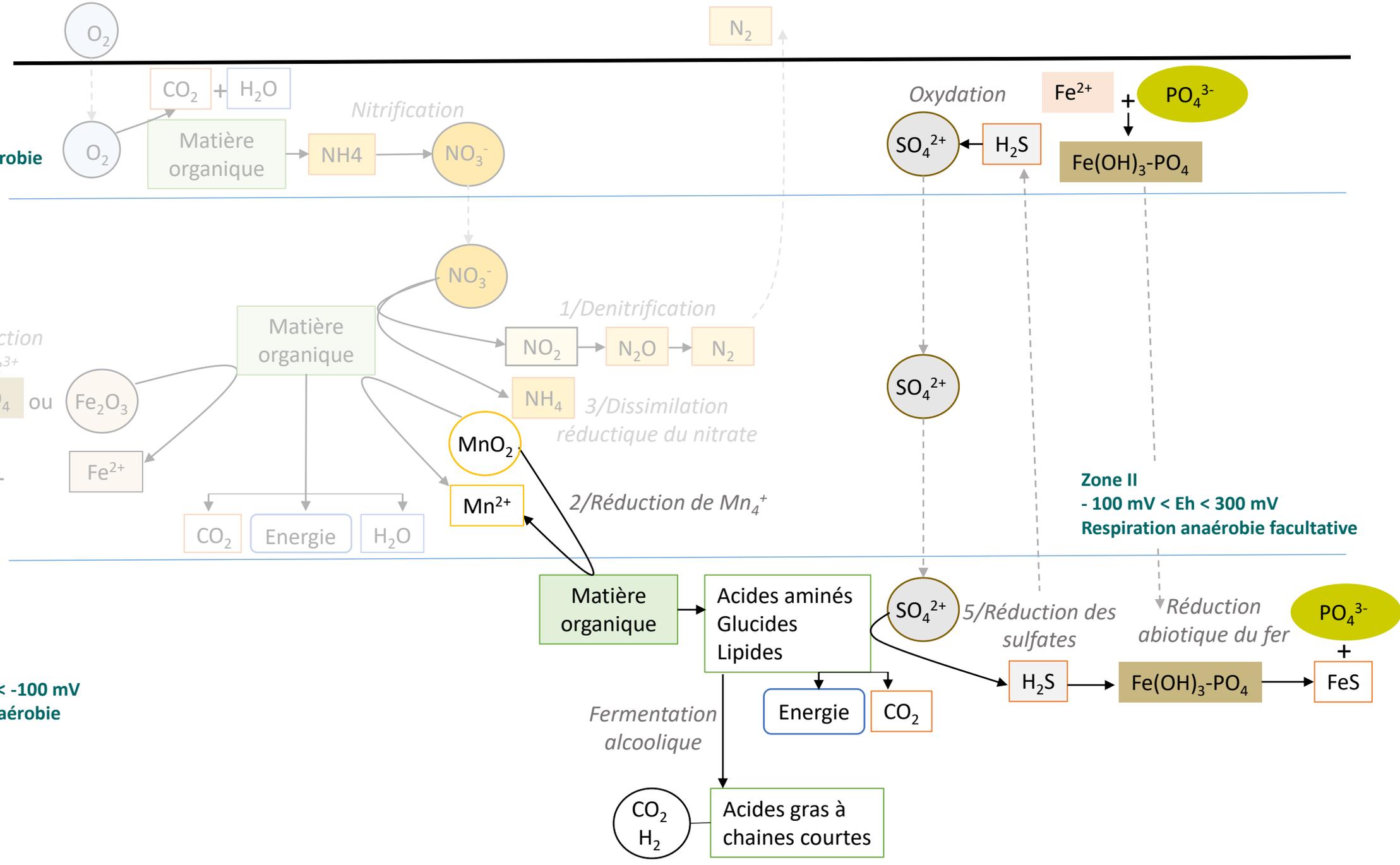


Air

Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie

4/Réduction de Fe³⁺

Zone III
- 300 mV < Eh < -100 mV
Respiration anaérobie

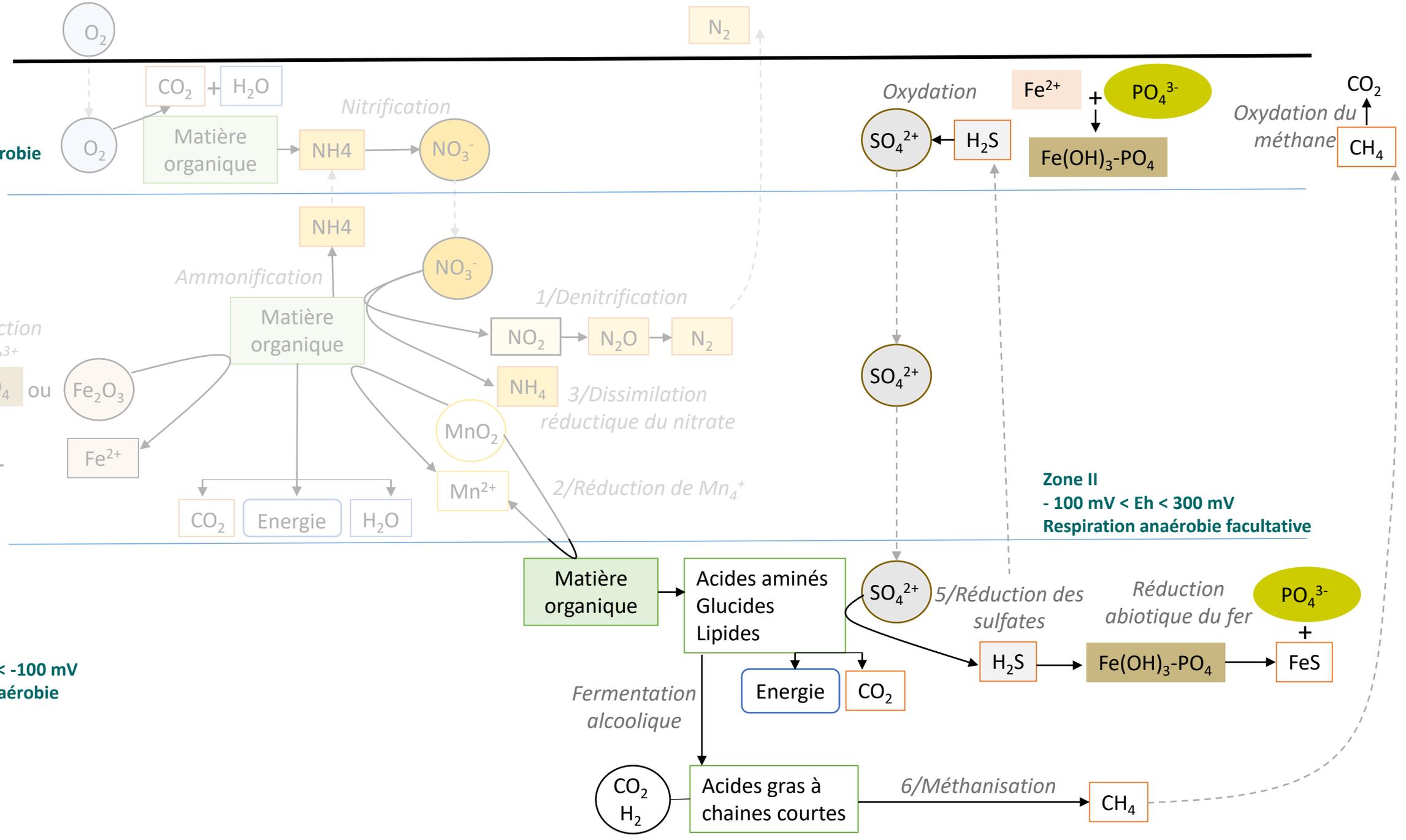


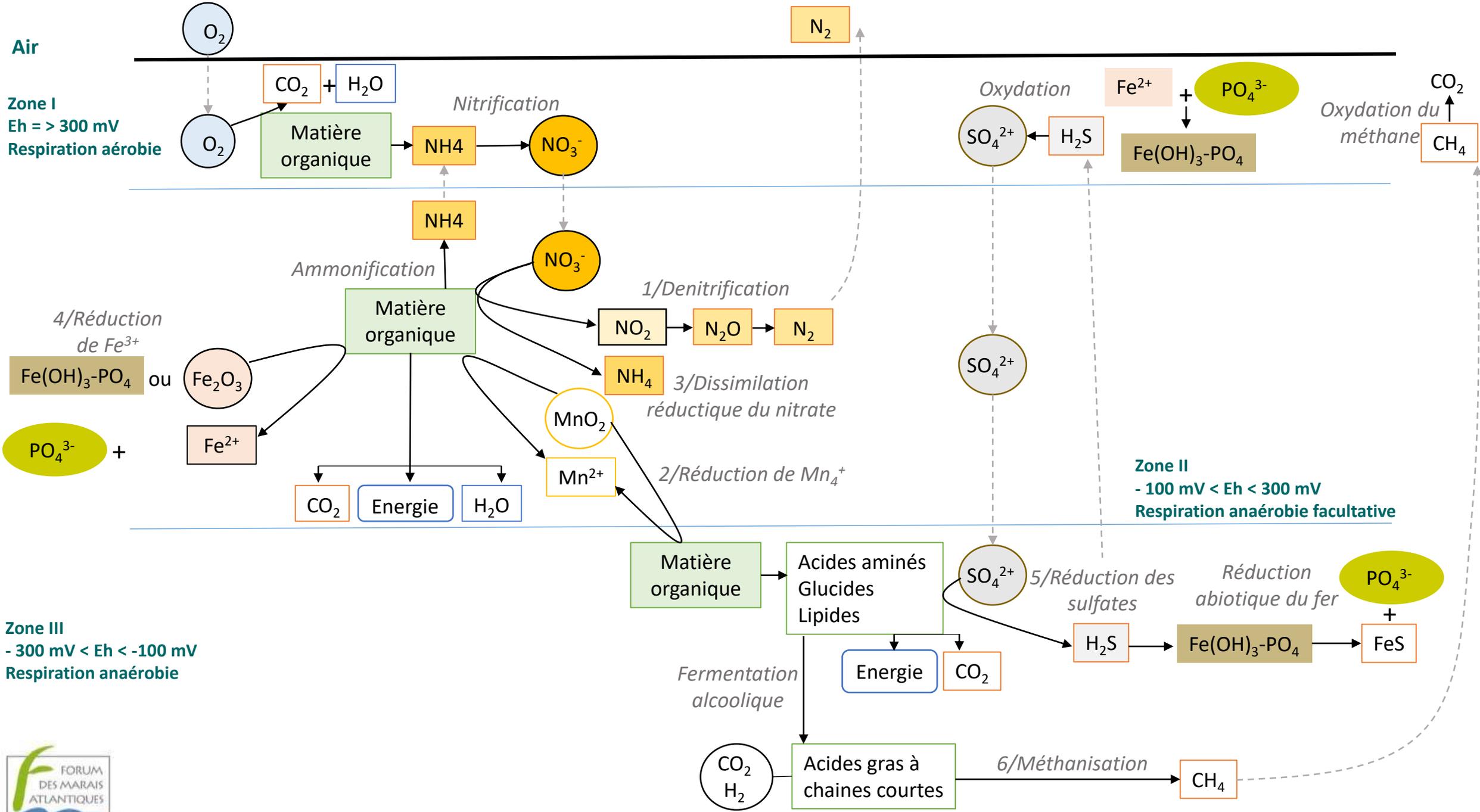
Air

Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie

4/Réduction de Fe³⁺

Zone III
- 300 mV < Eh < -100 mV
Respiration anaérobie





Air

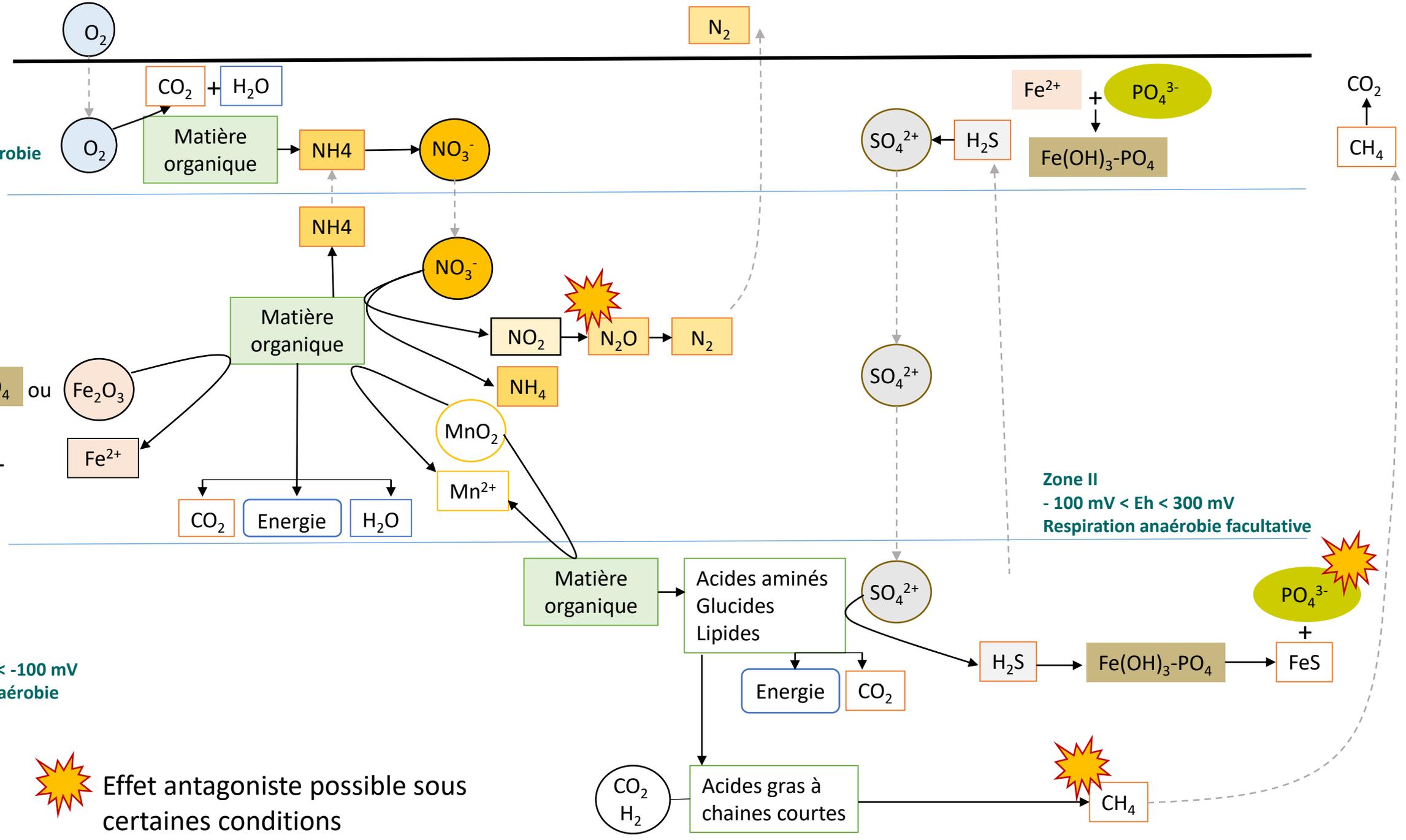
Zone I
Eh = > 300 mV
Respiration aérobie

Zone III
- 300 mV < Eh < -100 mV
Respiration anaérobie

Zone II
- 100 mV < Eh < 300 mV
Respiration anaérobie facultative



Effet antagoniste possible sous certaines conditions



ATTÉNUATION DES FLUX D'AZOTE DANS LE BASSIN VERSANT

LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

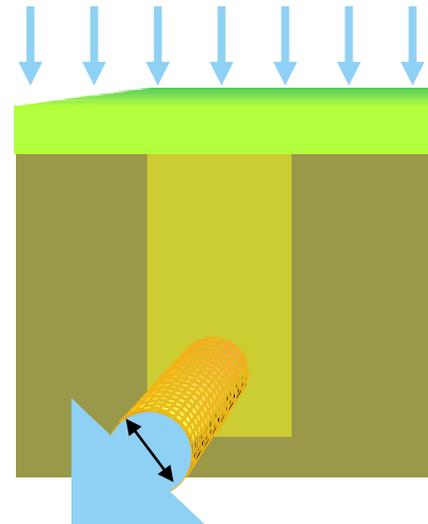
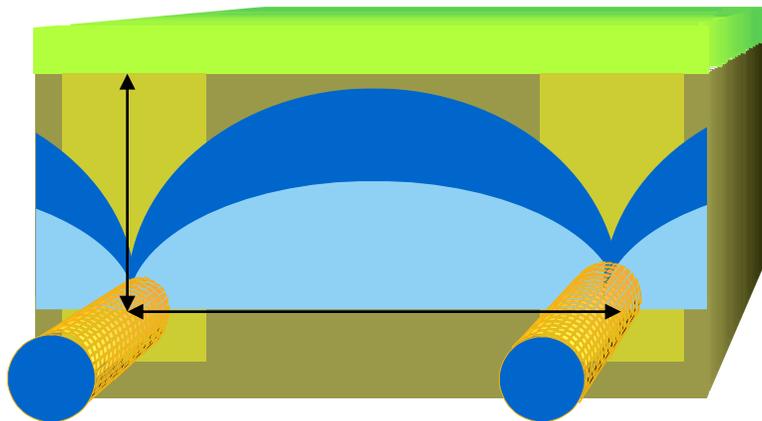
ATTÉNUATION DES FLUX D'AZOTE DANS LE BASSIN VERSANT

LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

RAPPELS SUR LE DRAINAGE

RAPPEL SUR LE DRAINAGE

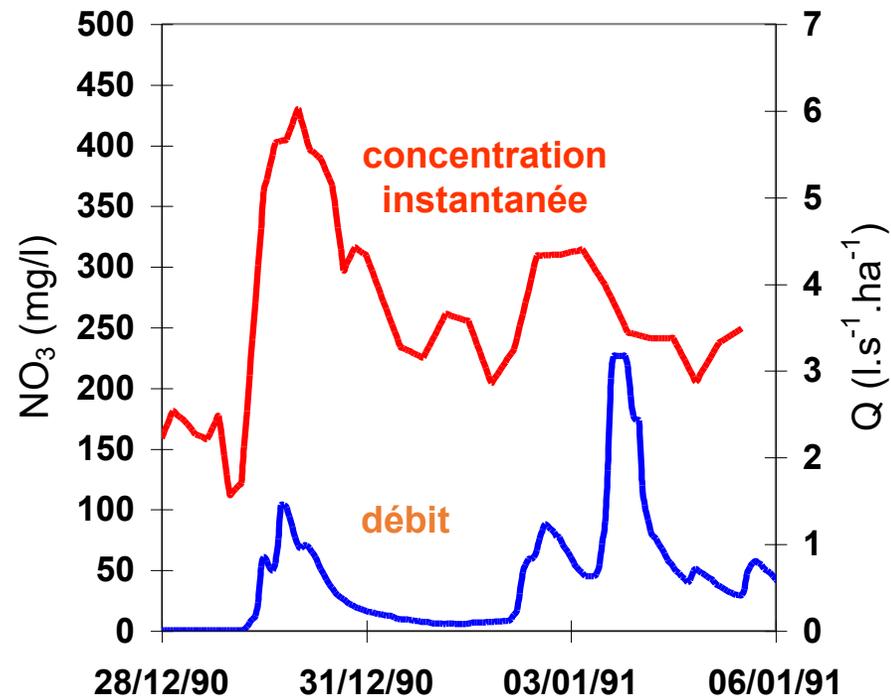
- **Dimensionnement et rôle des drains enterrés**
 - Écartement et profondeur sont reliés pour atteindre un objectif de rabattement de nappe (portance, aération)
 - Le diamètre des collecteurs est choisi pour évacuer, avant le passage en charge, une pluie de 3 jours, d'une période de retour d'un an



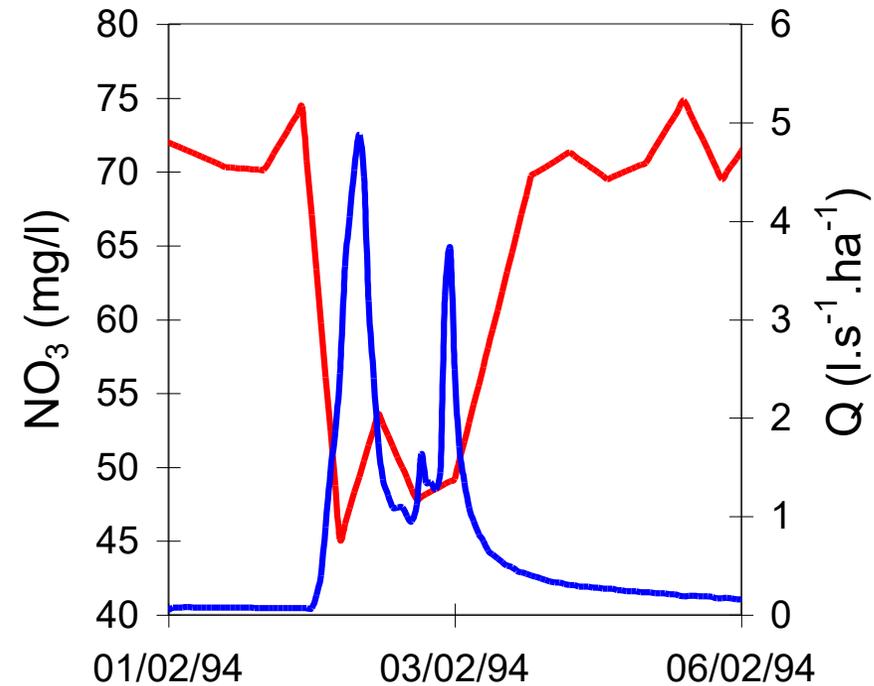
RAPPEL SUR LE DRAINAGE

- **Fonctionnement du drainage**

Typologie de lessivage des crues très typées : amorce et drainage intense



entraînements
soluté en surface
début de saison (amorce)



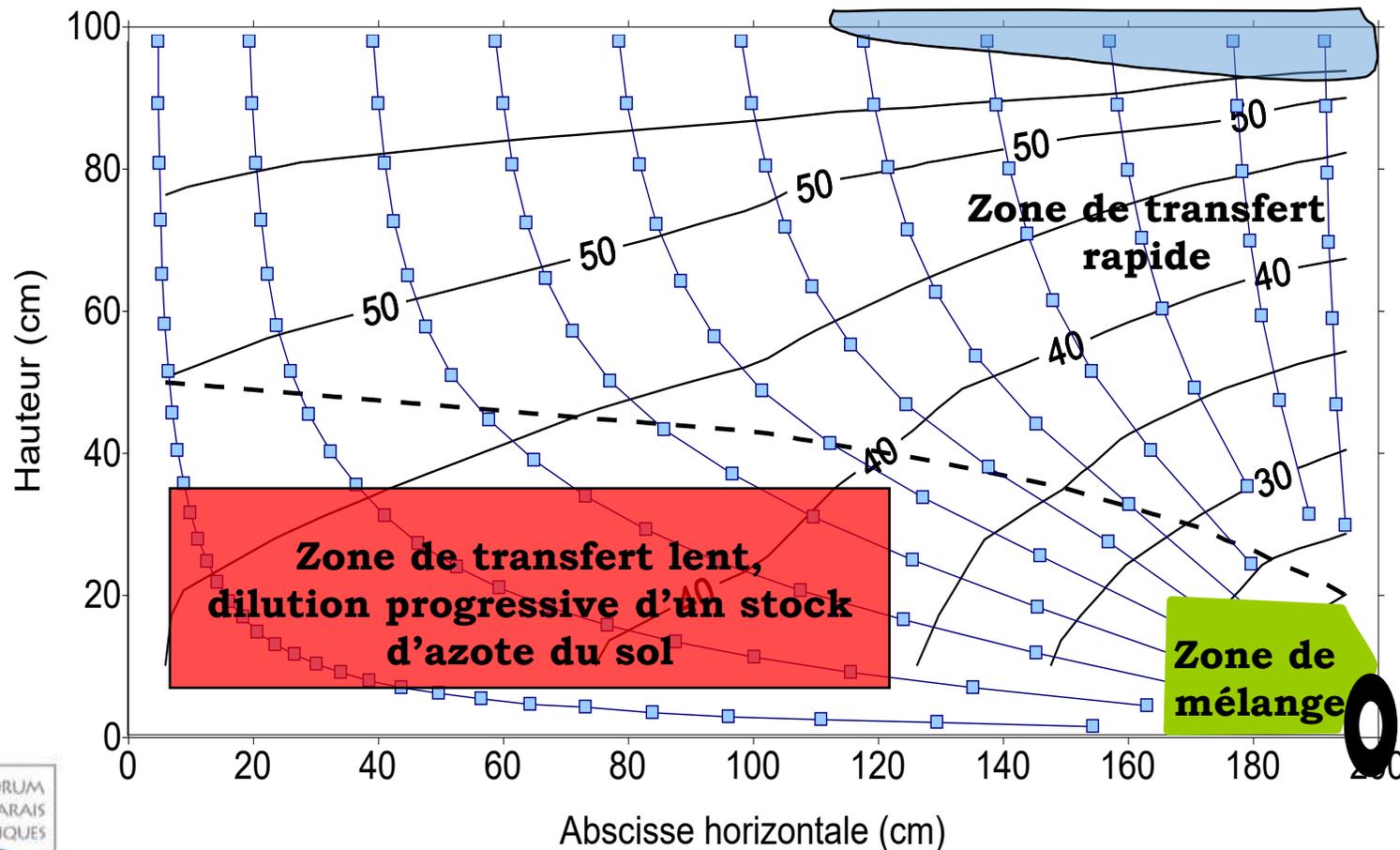
dilutions
nitrate « en fond »
saison de drainage intense

LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

RAPPEL SUR LE DRAINAGE

- **Fonctionnement du drainage**

Trajectoire moyenne des polluants dans le sol drainé



Expérimentation de laboratoire, Cemagref



LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

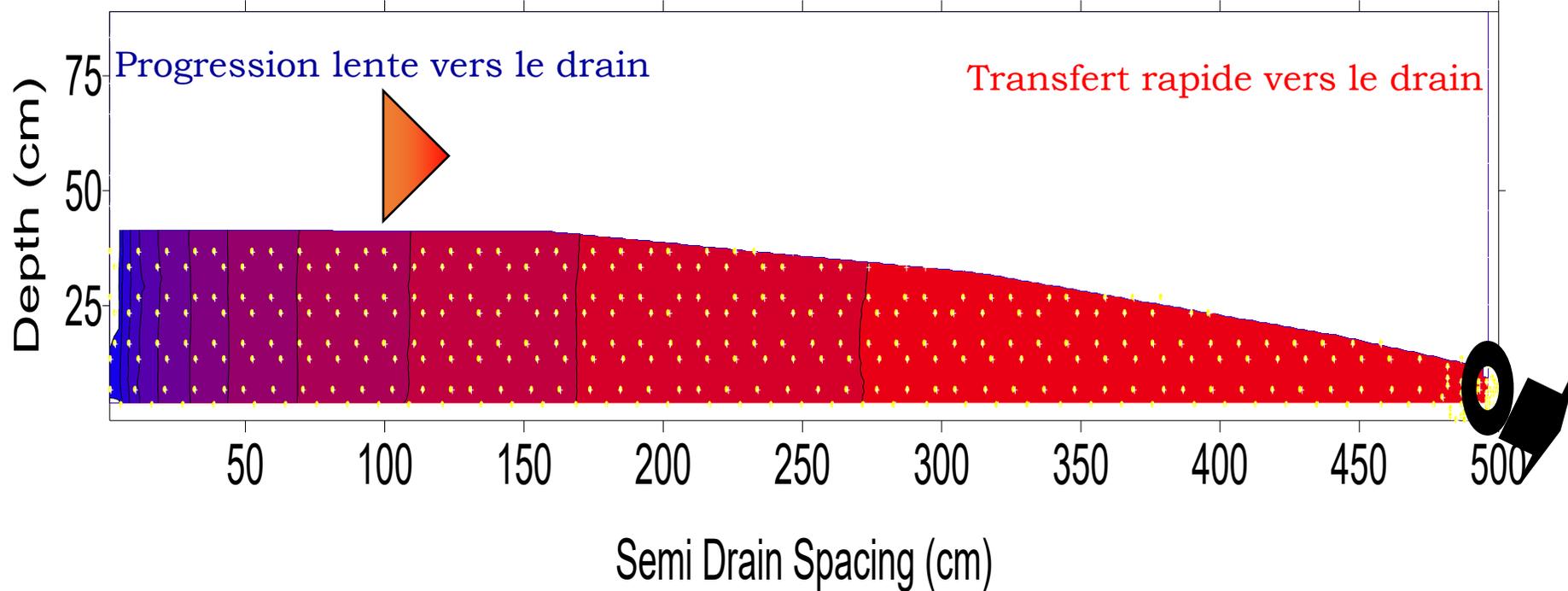
RAPPEL SUR LE DRAINAGE

- **Fonctionnement du drainage**

Trajectoire des polluants dans le sol drainé

Sur une base : écartement de 10 m et

Lame drainée annuelle cumulée = 250 mm/an



3 à 5 ans

1 à 3 mois

1 à 3 heures

Dilution progressive d'un stock initial, fonction de la position du stock

(croisement avec fonctionnement drainage)

AGIR SUR LES POLLUTIONS DIFFUSES

Complémentarité des actions

- Agir sur les pollutions générées (curatif)
- Agir sur les pratiques culturales (préventif)

Mais

- Dans certains cas, les seules modifications de pratiques ne peuvent résorber les quantités exportées par la parcelle (exemple des pesticides)
- Il faut admettre que l'activité agricole engendre des pollutions
- Trouver des solutions correctrices, le plus en amont possible des ressources en eau



Utilisation de **zones tampon humides artificielles**

ATTÉNUATION DES FLUX D'AZOTE DANS LE BASSIN VERSANT

LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

LES FOSSÉS AVEUGLES

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les fossés aveugles servent de petit bassin de rétention:

- En bas de parcelle pour intercepter les eaux de ruissellement de parcelles cultivées
- Comme récepteur de réseau de drains enterrés

Ils favorisent :

- l'infiltration des eaux de ruissellement chargées dans le sol
- la dénitrification par la stagnation de l'eau

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



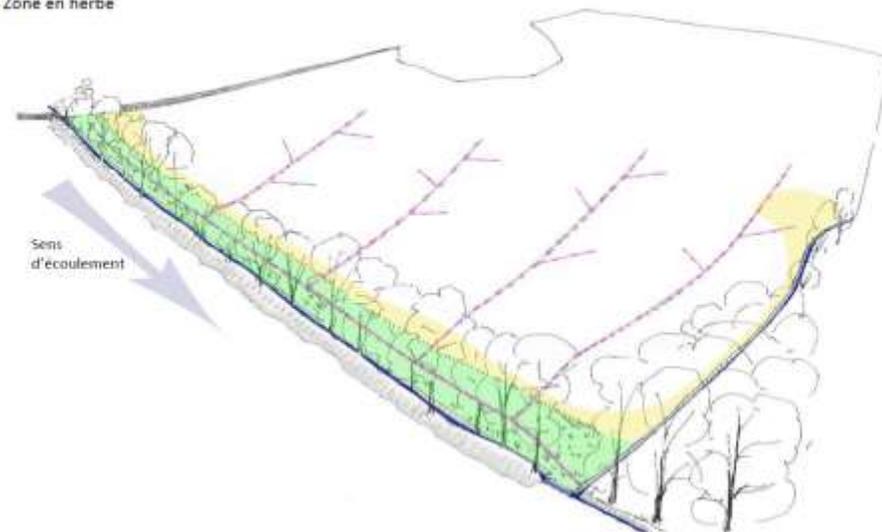
SAGE BAIE DE ST-BRIEUC

NOTE CONCERNANT LA MISE EN ŒUVRE DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES

Contact :

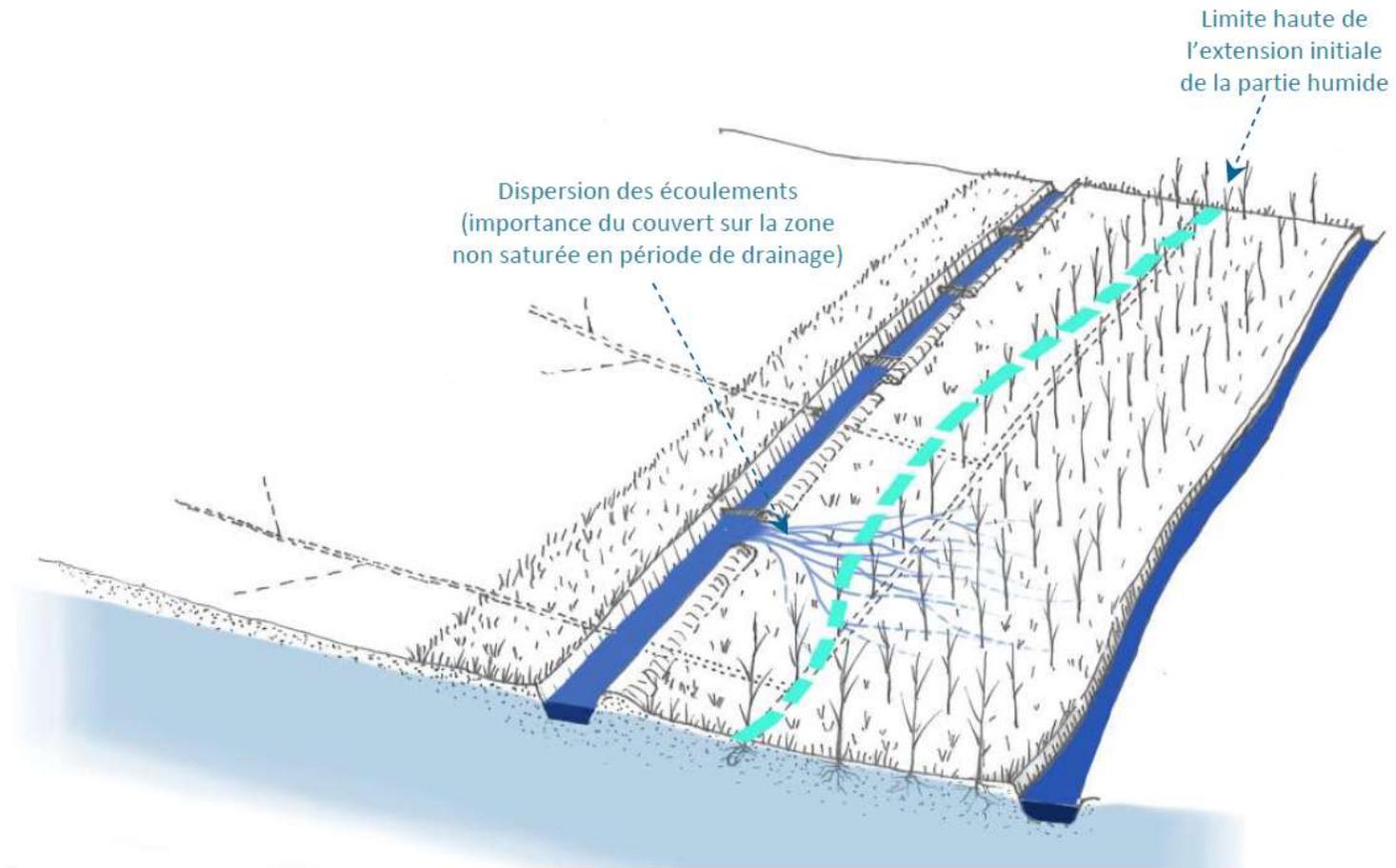
Wilfrid MESSIEZ – Responsable Pôle Eau et Environnement – Pays de St-Brieuc

- Zone humide cultivée
- Zone en herbe



LES FOSSÉS AVEUGLES

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

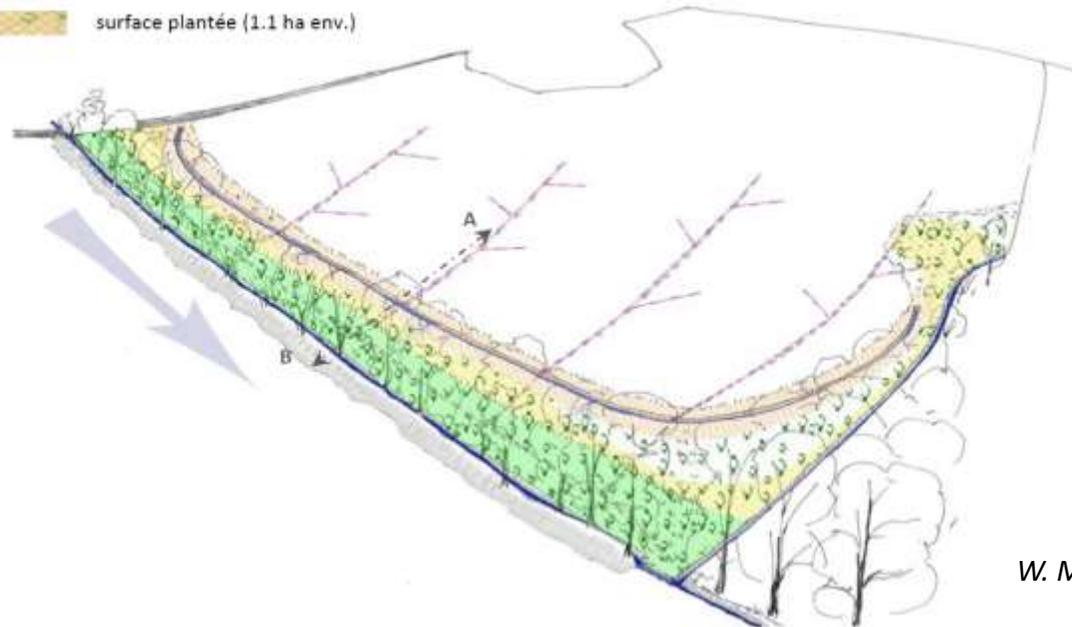


LES FOSSÉS AVEUGLES

PRINCIPE DE FO



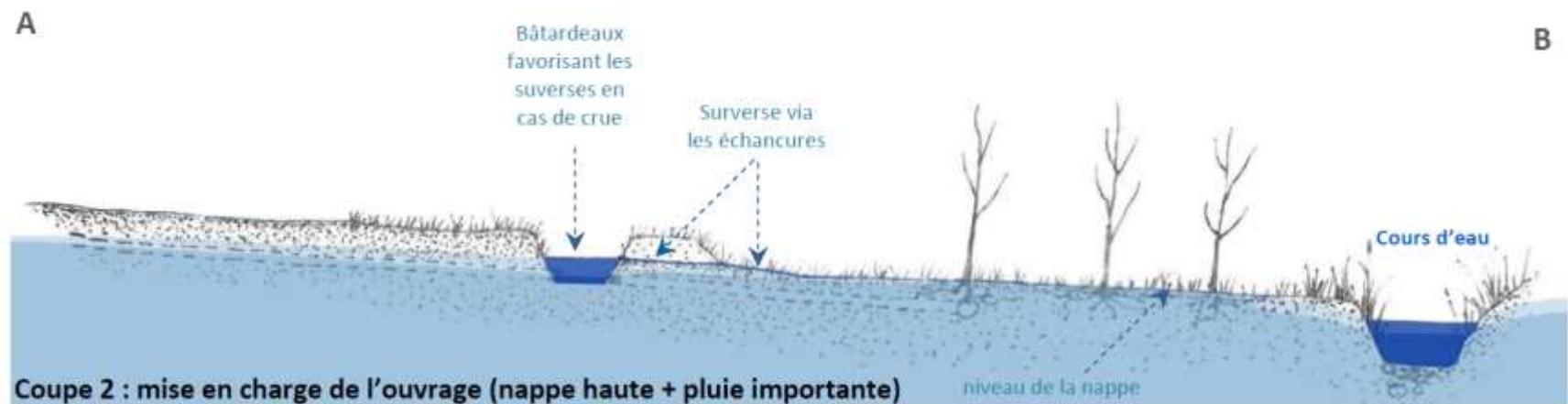
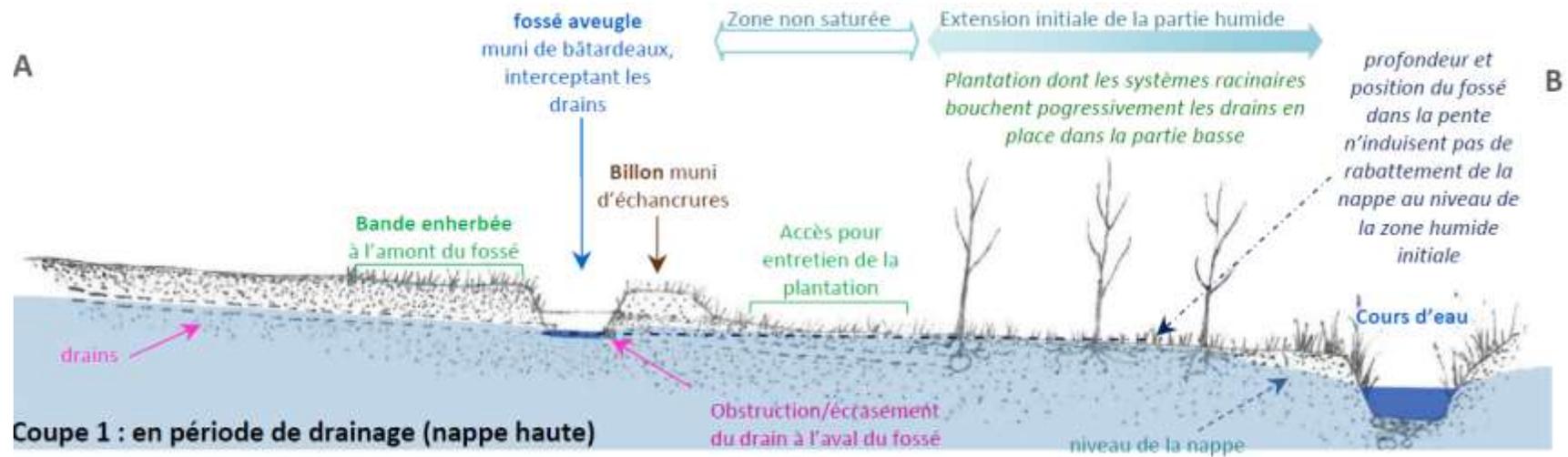
-  surface mise en herbe (0.5 ha env, si deux bandes de 5 m env. de part et d'autre du fossé)
-  surface plantée (1.1 ha env.)



W. Messiez

LES FOSSÉS AVEUGLES

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



W. Messiez

Exemple

Simon MAIGNAN, Dinan agglomération

ATTÉNUATION DES FLUX D'AZOTE DANS LE BASSIN VERSANT

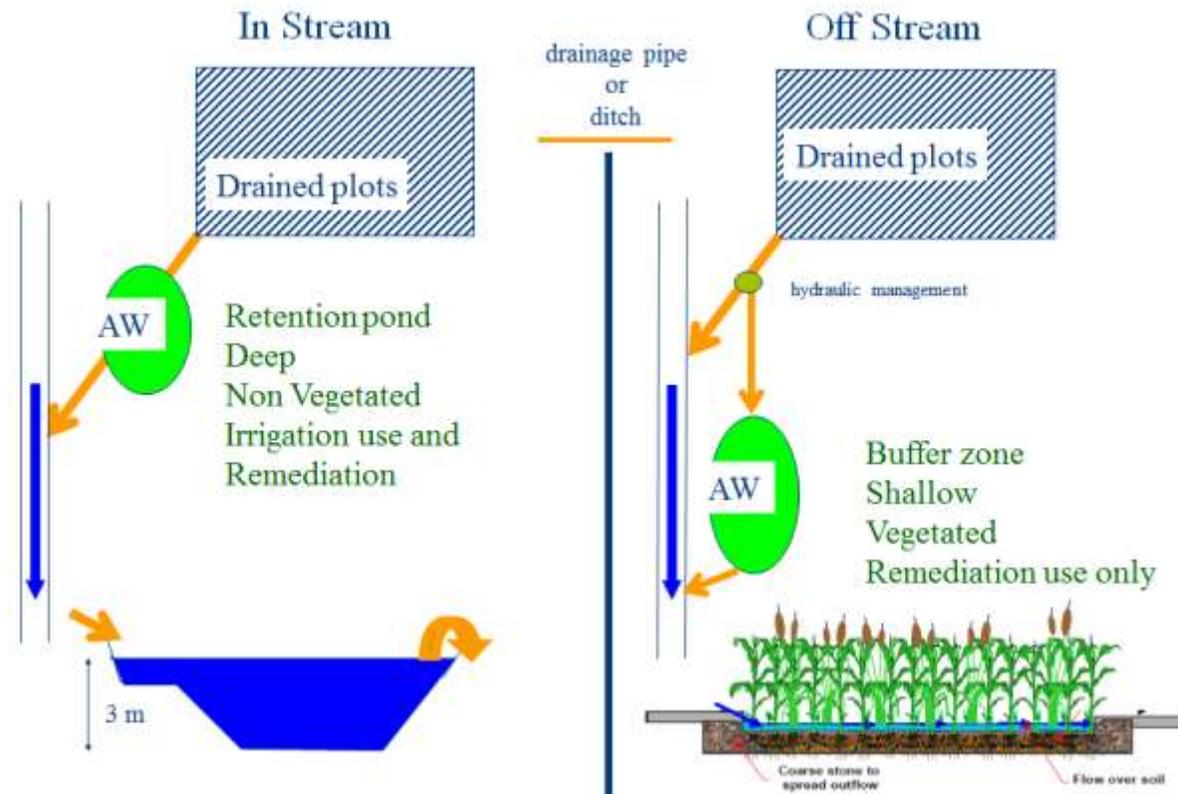
LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

BASSINS TAMPON

LOCALISATION DES ZONES TAMPON

Peuvent être placées:

- En série : sur un fossé ou en sortie de collecteur
- En parallèle : avec ouvrage de régulation en entrée et sortie



LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

LOCALISATION DES ZONES TAMPON

Exemple de réalisation en France :
bassin de rétention en série pour recycler les eaux de drainage



Bassin de l'Orgeval (77)

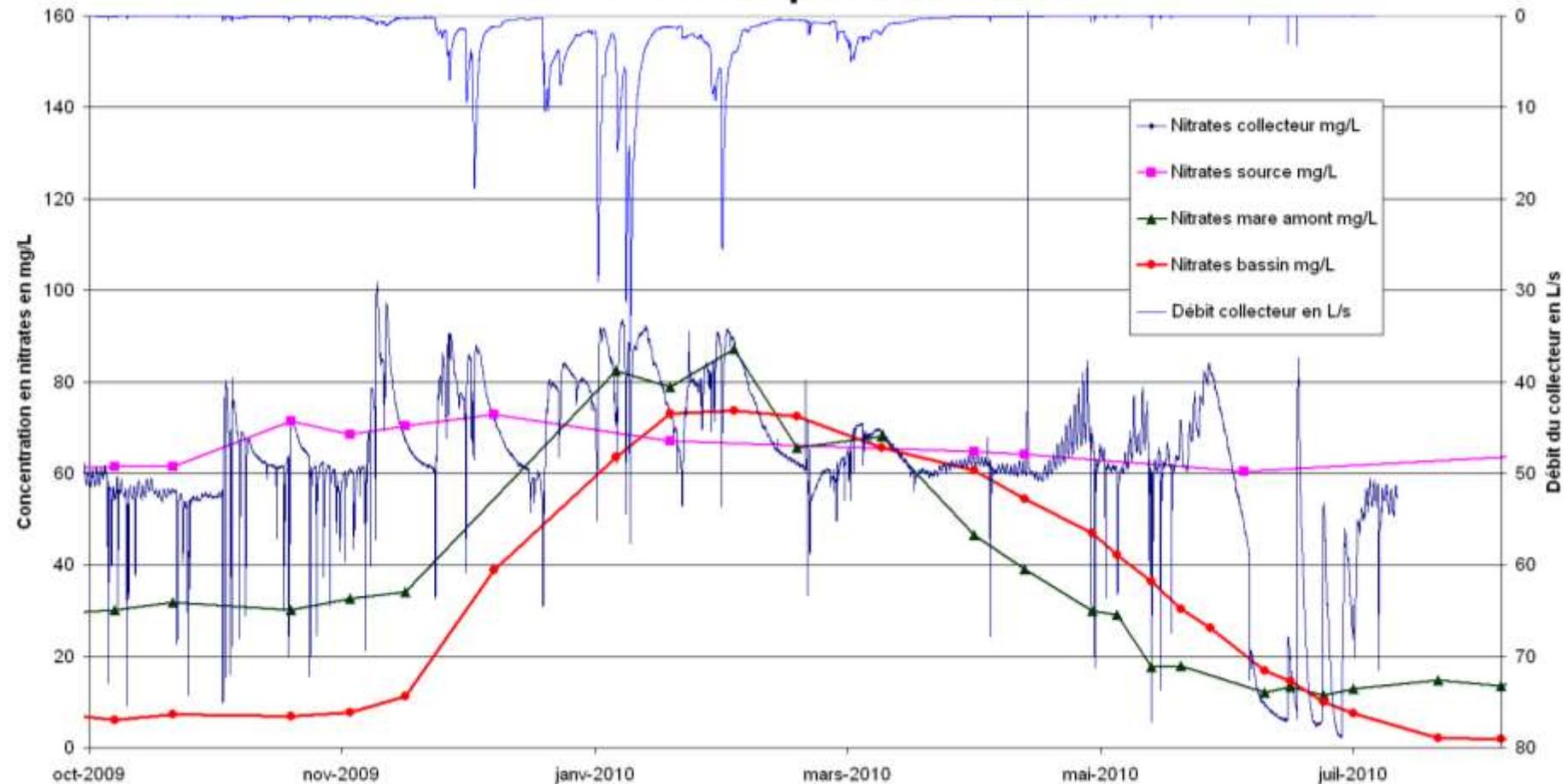
LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

Retenue collinaire : 3700 m² (1% de la surface drainée) pour 8000 m³.

The main image is an aerial photograph of a wetland retention system. A large area on the left is shaded with blue diagonal lines and labeled "Superficie du bassin versant drainé : 35 ha". A blue arrow points from this area to a red-bordered inset showing a closer view of the retention ponds. In this inset, a blue arrow labeled "Collecteur" points to a structure, and a callout box labeled "Débit source" shows a photo of a water source. A red-bordered inset at the bottom right shows a close-up of a structure labeled "Débit et qualité de la surverse". A cyan line labeled "Rû de Bourgogne" runs through the bottom of the main image. Two inset photos at the bottom left show a water flow measurement structure and a control room with a computer monitor, labeled "Débit et qualité du collecteur".

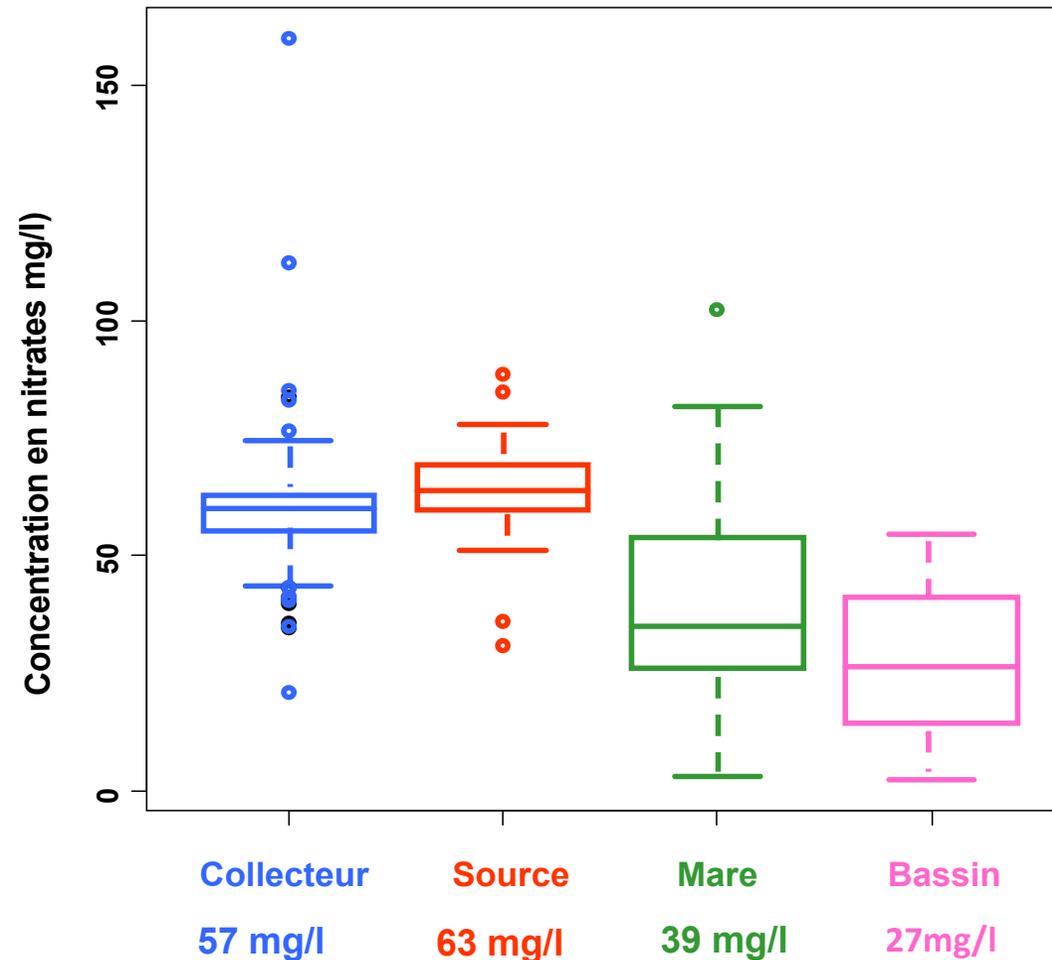
Zone tampon pilote de type en série

Chronique de débit et de concentrations en nitrates du collecteur jusau'au bassin



Zone tampon pilote de type en série

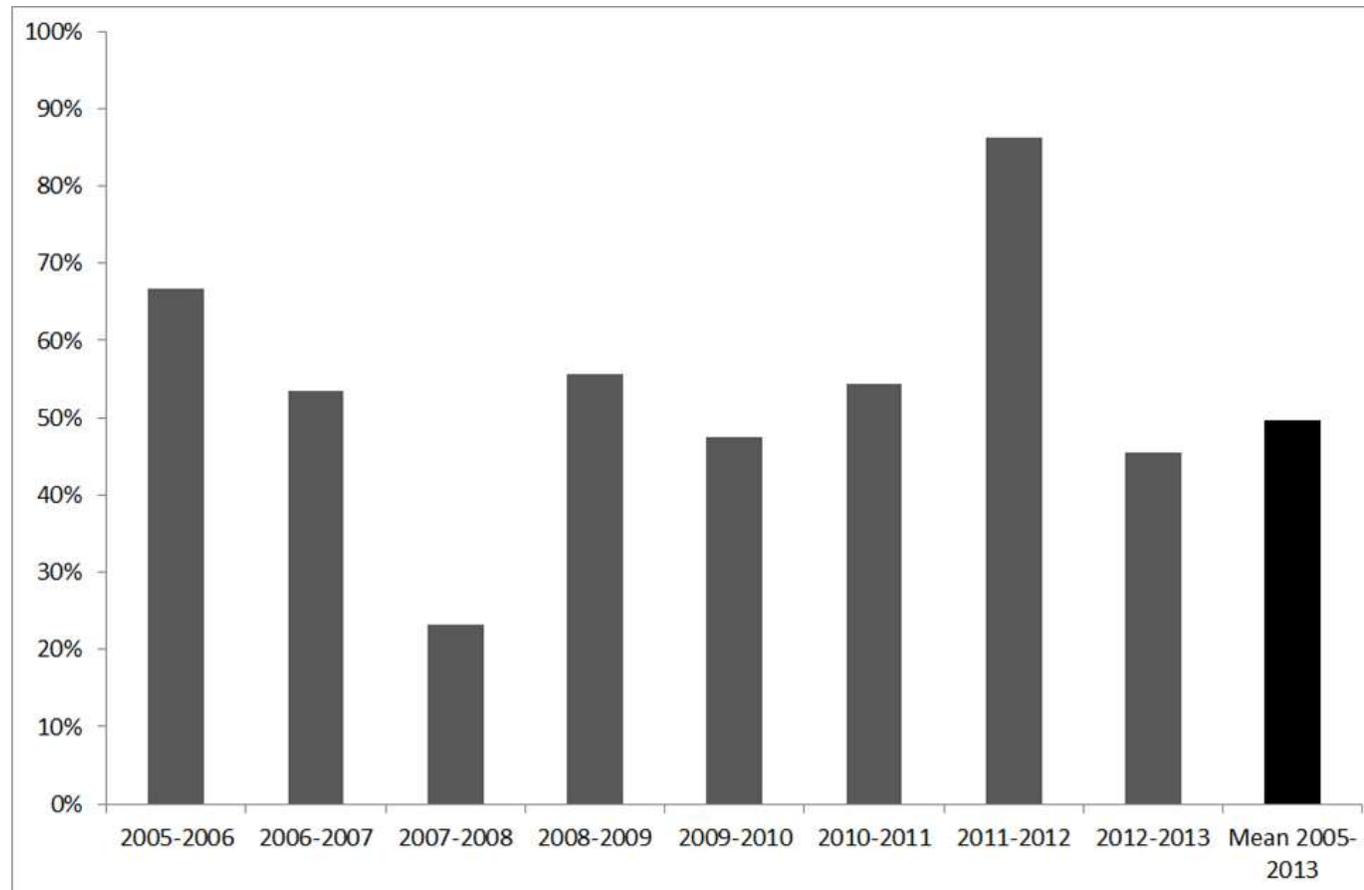
Pouvoir épurateur de la ZHA vis-à-vis des nitrates de fin 2005 à 2009



**Concentration
moyenne en
nitrates
de 2005 à 2009**

Zone tampon pilote de type en série

- Sur 8 ans, efficacité moyenne de 50%, fortement liée à l'année hydrologique (→ Tps de résidence)



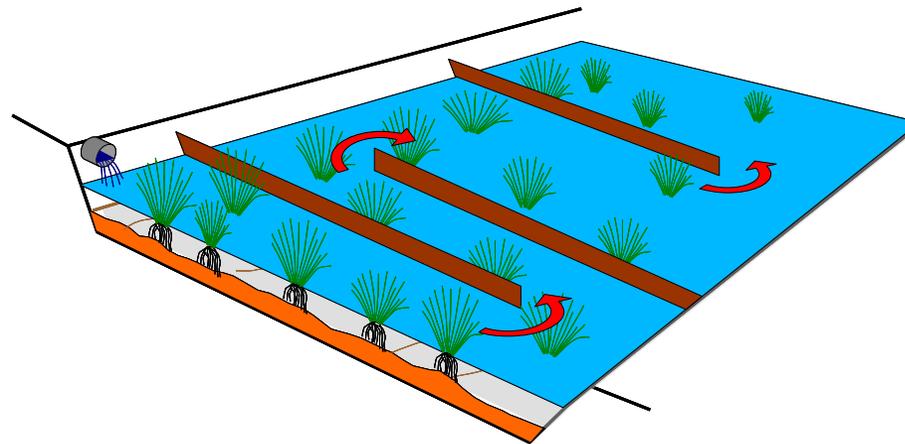
Zone tampon pilote de type en série

- **Avantages :**
 - capte toutes les eaux
 - **efficace pour les nitrates**
 - **assure au moins une dilution des pesticides**
 - peut servir à un autre usage
- **Inconvénients :**
 - volume de stockage pour assurer un temps de séjour suffisant
 - n'est pas optimisée pour la dégradation des pesticides
 - requière du dénivelé (>1m)

Zone tampon pilote de type en parallèle

Exemple de la zone humide tampon artificielle de Rampillon

Stratégies d'aménagement pour augmenter le chemin de l'eau et donc le temps de séjour.



LES ZONES TAMPON HUMIDES ARTIFICIELLES

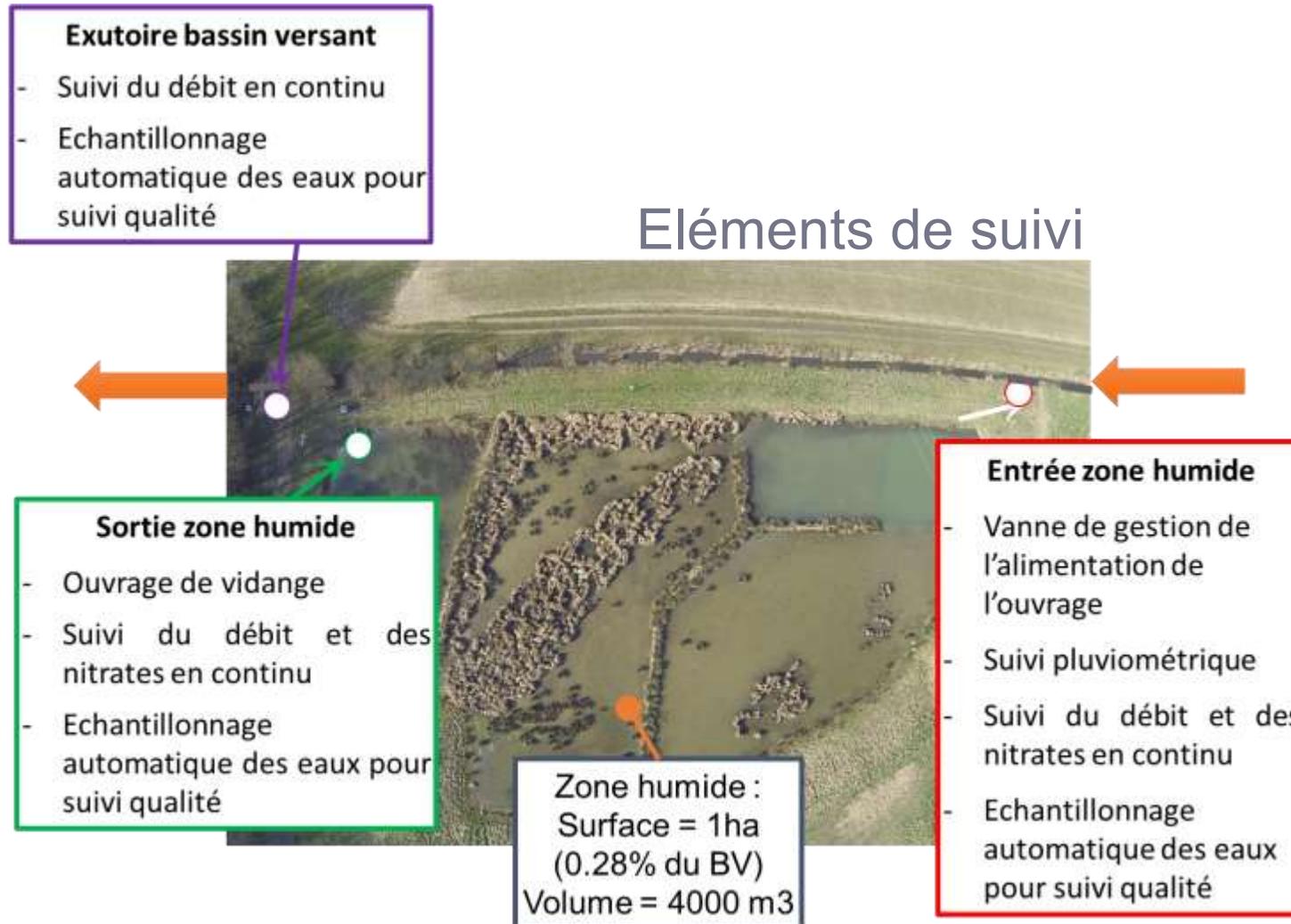
Zone tampon pilote de type en parallèle

Exemple de la zone humide tampon artificielle de Rampillon



Zone tampon pilote de type en parallèle

Exemple de la zone humide tampon artificielle de Rampillon



Zone tampon pilote de type en parallèle

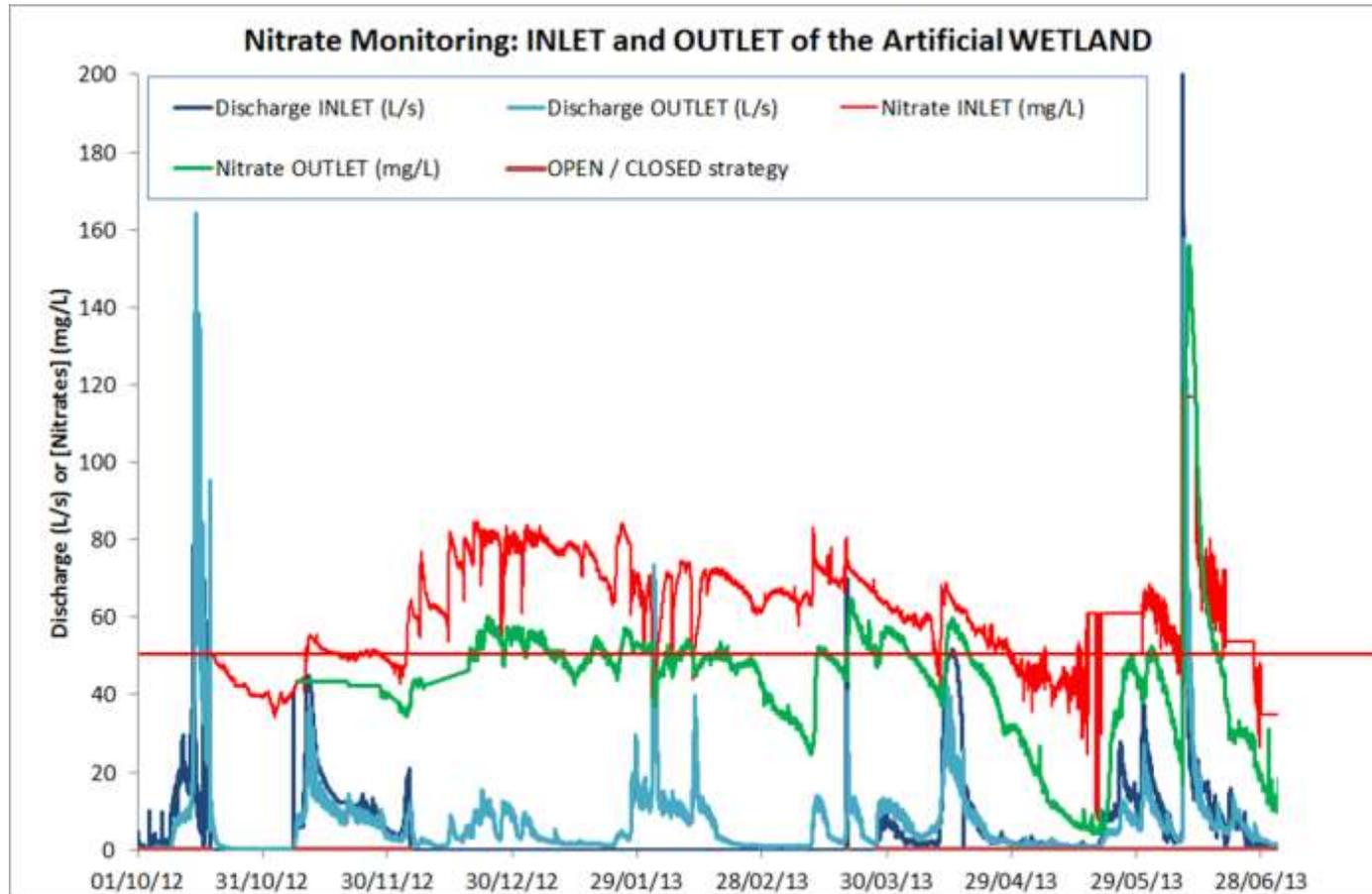
Exemple de la zone humide tampon artificielle de Rampillon

Instruments de suivis



Zone tampon pilote de type en parallèle

Exemple de la zone humide tampon artificielle de Rampillon



Résultats: Nitrate

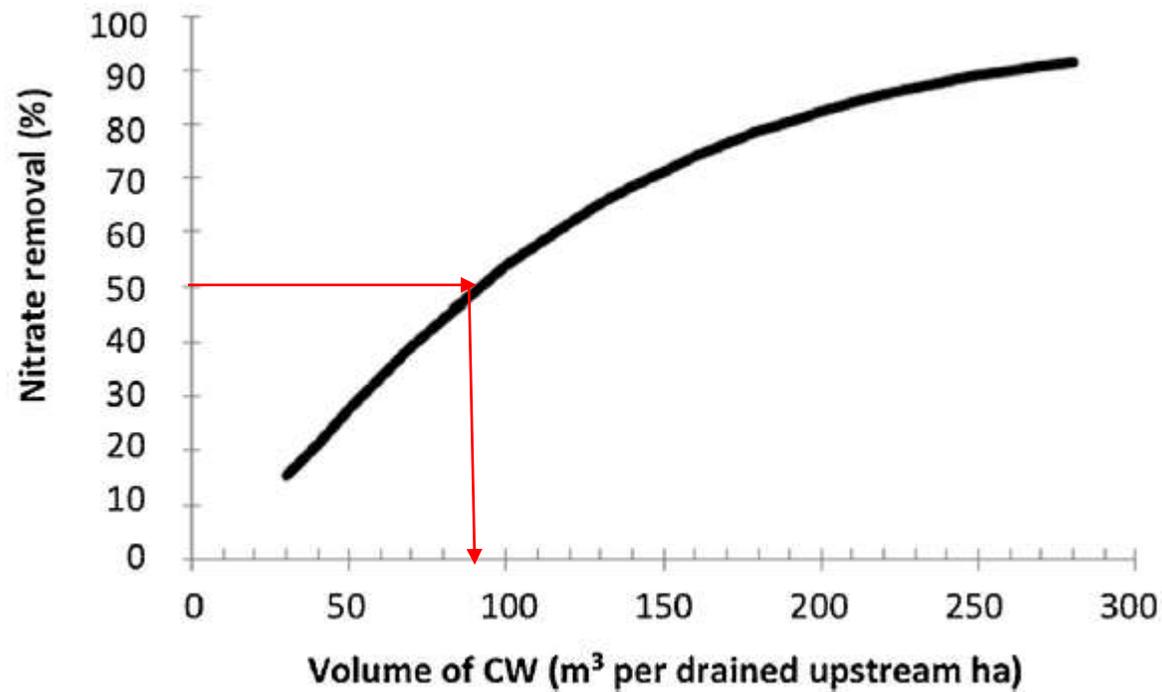
Lixiviation depuis le BV de 39 kg N/ha
Concentration moyenne: 67 mg /L

Baisse de la Concentration : - 20 mg/L
80% des concentrations < 50 mg/L
Efficacité dépendante du temps de séjour

Zone tampon pilote de type en parallèle

Exemple de la zone humide tampon artificielle de Rampillon

Efficacité des zones tampon humides artificielles en fonction de la surface de bassin versant interceptée



50 % d'abattement de nitrate pour un bassin tampon de 1% de surface du BV

Tournebize et al. 2016

A RETENIR

- Choix de l'emplacement en dérivation ou en série en fonction de l'espace disponible, la pente et de la priorité (nitrate ou pesticides)
- Zone tampon de 76 m³/ha de bassin versant soit 1% de la surface du BV sur 80 cm de profondeur en moyenne
- Temps de résidence de 2 jours pour un abattement de 50% de nitrate et 10 jours pour 50% des pesticides

FLUX D'AZOTE DANS LE BASSIN VERSANT

BIBLIOGRAPHIE

- Bidois, J., 1999.** Aménagement de zones humides ripariennes pour la reconquête de la qualité de l'eau. Université de Rennes 1.
- Brinson, M.M., Malvárez, A.I., 2002.** Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environmental Conservation* 29, 115–133.
- BRGM, 2000.** Synthèse des cas de dénitrification naturelle dans les eaux souterraines en France : intérêt du processus pour restaurer la qualité de l'eau. Rapport BRGM.RP-50304-FR. 34 p.
- Caubel, V., 2001.** Influence de la haie de ceinture de fond de vallée sur les transferts d'eau et de nitrate. ENSAR.
- Clement, J.-C., 2001.** Les zones humides de fonds de vallée et la régulation des pollutions azotées diffuses. Université de Rennes.
- 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* 54, 3–18.
- Fisher, J., Acreman, M.C., 2004.** Wetland nutrient removal : a review of the evidence. *Hydrology and Earth System Sciences* 8, 673–685.
- Grimaldi, C., Fossey, M., Thomas, Z., Fauvel, Y., Merot, P., 2012.** Nitrate attenuation in soil and shallow groundwater under a bottomland hedgerow in a European farming landscape. *Hydrological Processes* 26, 3570–3578.
- Hefting, M.M., Clement, J.-C., Bienkowski, P., Dowrick, D., Guenat, C., Butturini, A., Topa, S., Pinay, G., Verhoeven, J.T. a., 2005.** The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones in Europe. *Ecological Engineering* 24, 465–482.
- Hefting, M.M., Van den Heuvel, R.N., Verhoeven, J.T. a., 2013.** Wetlands in agricultural landscapes for nitrogen attenuation and biodiversity enhancement: Opportunities and limitations. *Ecological Engineering* 56, 5–13.
- Montreuil, O., 2008.** Relation entre l'ordre des bassins versants, l'organisation spatiale et le fonctionnement hydrologique et hydrochimique des zones humides riveraines. *AgroCampus Ouest*.
- Montreuil, O., Merot, Philippe, Marmonier, P., 2010.** Estimation of nitrate removal by riparian wetlands and streams in agricultural catchments: effect of discharge and stream order. *Freshwater Biology* 1–14.
- Rivett, M.O., Buss, S.R., Morgan, P., Smith, J.W.N., Bemment, C.D., 2008.** Nitrate attenuation in groundwater: a review of biogeochemical controlling processes. *Water research* 42, 4215–32.
- Tournebize, J., Arlot, M., Billy, C., Gillet, J., n.d.** Quantification et maîtrise des flux de nitrates : de la parcelle drainée au bassin versant. *Ingénieries N° Spécial*, 2008. 5–25.
- Tournebize, J. Chaumont, C., Mander, U. 2016.** Implications for constructed wetlands to mitigate nitrate and pesticide pollution in agricultural drainages watersheds. *Ecological Engineering*, In Press
- Ullah, S., Breitenbeck, G. a., Faulkner, S.P., 2005.** Denitrification and N₂O emission from forested and cultivated alluvial clay soil. *Biogeochemistry* 73, 499–513.