HAL
archives-ouvertes.fr

Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage : cas du département de la Seine-et-Marne

Julien Tournebize, C. Chaumont, S. Molina, D. Berthault

▶ **To cite this version:**

Julien Tournebize, C. Chaumont, S. Molina, D. Berthault. Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage : cas du département de la Seine-et-Marne. pp.35, 2013. hal-02599350

HAL Id: hal-02599350
https://hal.inrae.fr/hal-02599350

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Irstea Antony
1, rue Pierre Gilles de Gennes
CS 100 30
92 761 Antony cedex

Direction Départementale
des Territoires
288, avenue Georges Clémenceau
77 005 Melun cedex

Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage : cas du département de la Seine-et-Marne

VERSION 2, Décembre 2013

Zone tampon humide artificielle de Rampillon

Auteurs :
Julien Tournebize (Irstea)
Cédric Chaumont (Irtsea)
Sophie Molina (DDT)
Daniel Berthault (DDT)

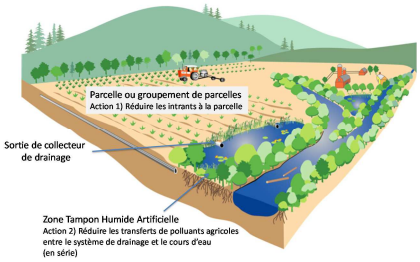
Avec le soutien financier de l'ONEMA :

Avertissement au lecteur

Le présent guide rassemble les connaissances acquises jusqu'à la date de rédaction. Il conviendra de vérifier les versions mises à jour, qui intégreront les nouvelles avancées scientifiques, retours d'expérience.
Pour tout information concernant la version en cours, vous pouvez contacter : Julien TOURNEBIZE, Irstea, groupement d'Antony, par email : julien.tournebize@irstea.fr ou par téléphone +33 1 40 96 60 38.

1 Préambule

Exutoire d'un collecteur de drainage



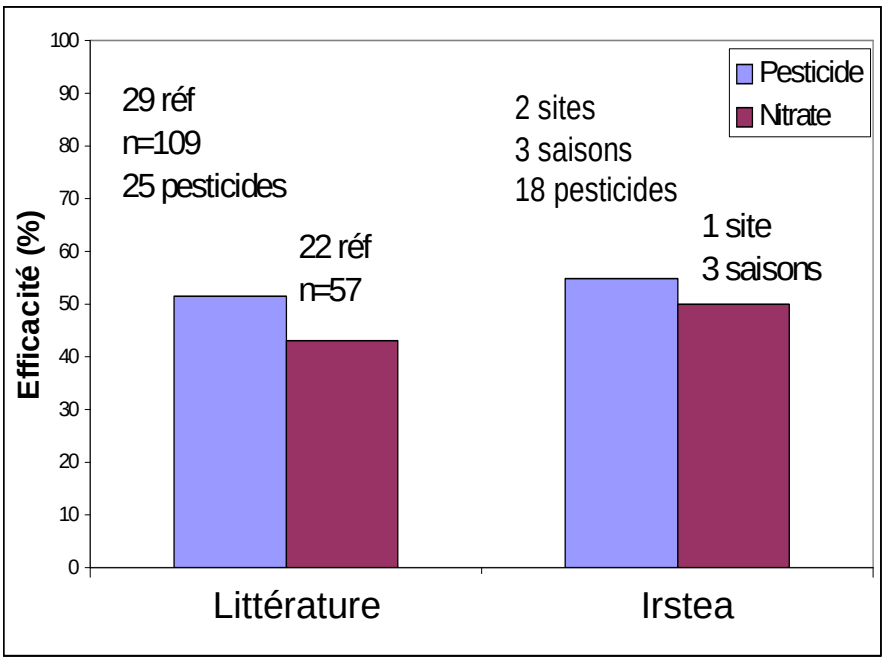
Stratégie de réduction de la pollution diffuse d'origine agricole. Adapté de Mitsch et Gosselink, 2000

Ce guide technique propose des éléments d'aide à l'implantation et à la construction de zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour intercepter et traiter les eaux issues du drainage de terres agricoles.
Les eaux de drainage entraînent des polluants d'origine agricole (nitrate et pesticides) par lixiviation, puis rejoignent les eaux superficielles du réseau hydrographique, voire souterraines dans des cas particuliers, contaminant ainsi des nappes phréatiques.

Qu'est-ce qu'une zone tampon humide artificielle ?

Une zone tampon humide artificielle (ZTHA) en milieu agricole est un bassin de rétention, une mare existante, de profondeur et de hauteur d'eau variables, végétalisée ou pas. Nous incluons dans ces systèmes les zones tampons sans végétation s'approchant du lagunage, ou avec végétation se rapprochant de systèmes plus naturels comme les zones humides. C'est la position dans le bassin versant qui lui confère la propriété « tampon ». Ainsi la connexion hydrologique de la zone tampon est un critère indispensable : l'eau doit être interceptée puis retourner au cours d'eau après un séjour dans la ZTHA.

Des travaux récents ont montré le potentiel de ces dispositifs auto-épurateurs pour réduire la concentration et les flux de nitrates et de pesticides de ces eaux de drainage à l'échelle d'un bassin versant (par exemple voir Fisher et Acreman, 2004, Tournebize et al., 2013). La mise en place des ZTHA doit toujours être accompagnée d'une démarche plus globale basée sur la réduction des intrants



Efficacité des ZTHA pour réduire les flux des ions nitrate et des pesticides

Les ZTHA sont ainsi un outil complémentaire, et non un permis de polluer. Les informations contenues dans ce guide se basent sur les résultats de l'étude expérimentale de Rampillon, commune située à proximité de Nangis, en Seine-et-Marne dans le cadre d'une collaboration (2005-2012) avec AQUI'Brie, Irstea, DDT77, les agriculteurs du bassin versant et le soutien financier de l'agence de l'Eau Seine Normandie. Ce guide s'insère dans le cadre des productions du groupe « Zone Tampon » de l'ONEMA. Certains aspects techniques ou schémas sont extraits des rapports des bureaux d'étude engagés dans la démarche (EN-OM-FRA et CIAE).
Toutefois, les retours d'expériences sont peu nombreux et certains paramètres restent à développer (dimensionnement, optimisation des processus de rétention et de dégradation).

2 Introduction

Quelles sont les personnes concernées par ce guide ?

Ce guide est destiné à informer les différents acteurs souhaitant mettre en place des dispositifs tampons en sortie de bassin versant drainé par tuyaux enterrés. Les acteurs concernés sont principalement les bureaux d'études, les agriculteurs, les maîtres d'ouvrage, l'ONEMA et les services de l'État.

Que propose-il ?

Le guide propose une méthodologie pour raisonner la localisation, la morphologie, la gestion hydraulique, la végétalisation et la maintenance dans la réalisation de ZTHA sur un bassin versant drainé.
Dans l'exemple qui sert de base à ce guide, le drainage agricole a été mis en place sur des sols hydromorphes de type luvisol (aussi appelés limon des plateaux), avec un plancher plus ou moins perméable à 100 cm de profondeur.

Dans quelles situations est-il possible de créer ces ZTHA ?

Une ZTHA est créée pour recevoir des eaux, provenant d'une surface drainée amont entre 10 et 100 ha. Pourquoi cette valeur seuil de 100 ha ? Les suivis en sortie de bassin versant drainé ont montré que les concentrations en pesticides étaient beaucoup plus élevées lorsque la surface contributive était réduite. Au-delà de 100 ha, les concentrations de pesticide (liées à une application sur une sous surface) se retrouvent trop diluées pour que la ZTHA ait un impact.
Pour le cas des nitrates, l'échelle d'intervention importe beaucoup moins du fait de la contribution relativement homogène des différentes parcelles du bassin versant.
Dans les références scientifiques, une surface de ZTHA correspondante à 1% du bassin versant est généralement proposée. Une méthode et des résultats préliminaires sont proposés au paragraphe 5.3, pour l'aide au dimensionnement en fonction de l'hydrologie et du temps de séjour escompté.

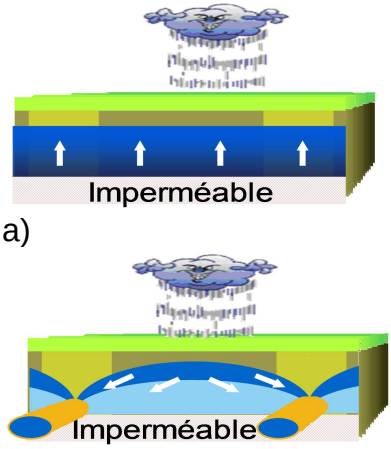
Sur quoi est basé ce guide ?

Les recommandations de ce guide sont basées sur la démarche de co-construction adoptée entre les différents acteurs (agriculteurs, AQUI'Brie, Irstea) sur le bassin versant de Rampillon. L'étude de conception et la construction des ZTHA ont été réalisées sur la période 2005-2011. Un article scientifique de Tournebize et al., 2012, synthétise les étapes dans la réflexion de co- construction sur le projet.

Les champs d'application et les limites du guide ?

Ce guide peut être généralisé, pour la partie mise en œuvre, à tout aménagement tampon interceptant des eaux de surface (drainage et ruissellement). En revanche, l'aspect dimensionnement sera à raisonner au cas par cas. Les recommandations sur le type de végétation à implanter sont applicables au territoire de la Seine-et-Marne en tenant compte des écosystèmes environnants. Pour d'autres situations, il est indispensable de se rapprocher des services de l'ONEMA afin de ne pas introduire d'espèces exotiques voire invasives.

Se replacer dans le contexte ...



a)

b)

Schémas sans (a) et avec (b) un système de drainage artificiel

Les programmes de drainage à grande échelle (environ 50 ha de terres drainées) se sont développés dans les années 1980 afin de répondre à une logique économique d'accroissement de la production. Le département de la Seine-et-Marne a été l'un des territoires à développer massivement le drainage agricole.

Cette méthode permet d'assainir artificiellement les sols hydromorphes, c'est à dire des sols gorgés d'eau dus à un défaut d'infiltration naturelle pendant la période hivernale. Le drainage permet ainsi d'améliorer la praticabilité des parcelles et de maintenir des rendements agricoles en s'affranchissant des contraintes liées au sol et au climat.

Comment fonctionne un réseau de drainage ?

En général, les drains sont espacés de 10 à 12 m (valeur dépendant de la nature du sol) et se trouvent à une profondeur d'environ 90 cm. Les files de drains sont installées avec une pente artificielle qui permet l'écoulement gravitaire des eaux captées dans le sol.
Les drains sont en poterie ou en fagots de bois pour les plus anciens, ou pour les plus récents normalisés, en PVC perforé. L'ensemble des drains est connecté à un tuyau plus gros (collecteur) qui lui-même est relié à un fossé d'assainissement agricole. Ainsi sur un bassin versant drainé, sont présents mais invisibles de nombreux réseaux de tuyaux enterrés reliés directement au réseau hydrographique.

Réseaux de drains en construction

Draineuse sous-soleuse

Draineuse trancheuse

Quelques prescriptions :

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

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

Tranchée creusée par une draineuse trancheuse

Draineuse trancheuse

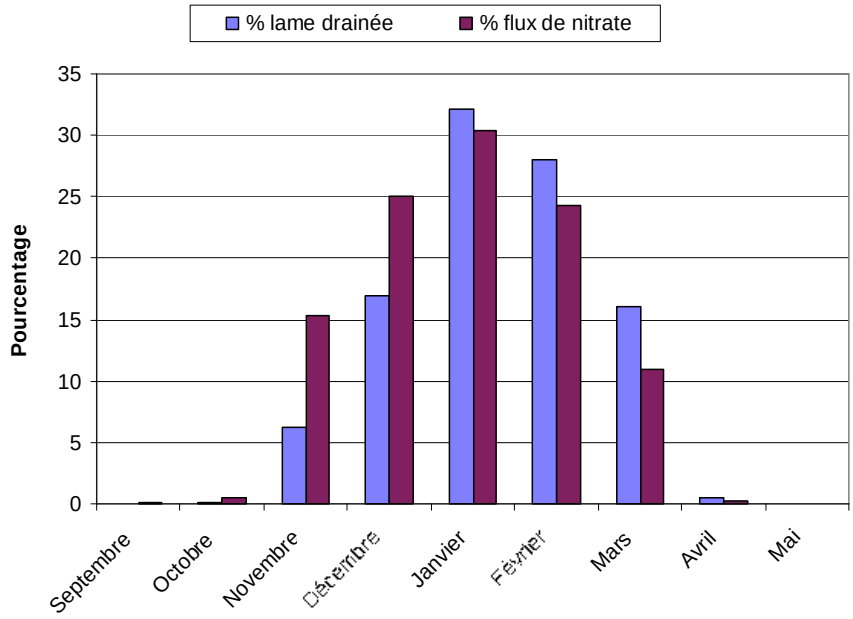
Le fonctionnement hydrologique d'une parcelle drainée est spécifique à la présence des drains sur socle peu perméable. On distingue alors trois phases sur la période d'écoulement.

- Une saison d'amorce du drainage, de septembre à novembre, au cours de laquelle les précipitations deviennent de plus en plus régulières et l'évapotranspiration potentielle (ETP) diminue. La réserve en eau des sols est alors en cours de reconstitution. Cette phase est très variable dans le temps, mais par simplification, peut se résumer à un cumul de précipitations de l'ordre de 100 mm (fonction de la réserve utile du sol) compté à partir du 1ier octobre (calé sur l'année hydrologique de septembre à septembre). Le coefficient de restitution de l'eau de pluie aux drains est de l'ordre de 6 à 20 %.

- Une saison de drainage intense, de décembre à février/mars, au cours de laquelle les précipitations sont régulières et l'ETP très faible. La réserve en eau des sols y est alors entièrement reconstituée et la capacité de stockage en eau des sols est atteinte. Le coefficient de restitution de l'eau de pluie aux drains se situe entre 60 et 90 %.

- Une saison de fin de drainage, d'avril à août. Les précipitations deviennent de plus en plus sporadiques et l'ETP augmente au fur et à mesure qu'on avance dans cette saison. La réserve en eaux des sols tend à s'épuiser en raison de l'ETP. Le drainage diminue plus la saison printanière avance et devient nul ou quasi nul pendant les deux mois d'été (juillet/août). Le coefficient de restitution de l'eau de pluie aux drains est de l'ordre de 5 à 20 %.

Le cumul annuel des eaux drainées s'échelonne, selon la pluviométrie, de 50 à 500 mm, avec une moyenne interannuelle de 220 mm par an.



Moyenne des contributions mensuelles des flux d'une saison complète de drainage, site de La Jaillière (eau: 220 mm/saison et nitrate: 38kgN/ha/saison, soit 76mg NO3/L moyenne de 1989 à 1997) (source Arvalis/Irstea)

Pourquoi est-il important de traiter les eaux de drainage ?

Zone d'engouffrement d'un fossé agricole

La circulation de l'eau engendrée par le drainage entraîne la lixiviation de nitrate et de pesticides vers les eaux superficielles qui peuvent contribuer à la recharge d'aquifère. Selon le contexte, la recharge vers les eaux souterraines peut même se faire très rapidement, comme par exemple dans le cas des gouffres de Rampillon où les eaux de drainage contribuent directement à la qualité des eaux de la nappe.
Dans les cours d'eau, l'excès de nitrate favorise les processus d'eutrophisation du milieu, correspondant à une croissance excessive d'algue et d'espèces aquatiques. Cette croissance diminue la teneur en oxygène du milieu, certains poissons et invertébrés ne sont donc plus adaptés à ces modifications du biotope.

Les concentrations en nitrate dans les eaux dépendent des phases de drainage. La concentration moyenne annuelle en nitrate oscille entre 10 et 90 mg/L NO_3^-, selon l'intensification des pratiques agricoles. Lors des pics de concentrations en nitrates dans les eaux de drainage, l'objectif à la sortie des bassins est d'être inférieur à 50 mg/L NO_3^- (concentration maximale autorisée dans l'eau potable).
Les pesticides, quant à eux, sont nocifs pour de nombreuses espèces aquatiques à faibles doses. Les exportations en pesticides dans les eaux de drainage sont souvent de l'ordre de

quelques grammes par matière active appliquée, par hectare et par an. En général, les flux annuels de chaque matière active sont inférieurs à 1% de la dose appliquée. L'objectif est d'atteindre des concentrations en pesticides inférieures aux valeurs imposées par la réglementation. Pour les eaux souterraines, les concentrations doivent être inférieures à 0.1 µg/ L de pesticide. Pour les eaux de surfaces, les valeurs imposées dépendent du type de pesticide. Néanmoins, les valeurs des concentrations ne doivent pas dépasser 2 µg/L.
Il est donc important de coupler ces dispositifs tampons à des actions préventives, limitant à la source, la quantité d'apport en pesticides et en nitrate sur les parcelles agricoles. Ces bassins ne sont donc pas des permis de polluer, mais des dispositifs complémentaires dont l'objectif est de réduire les transferts.

Les principes retenus pour les ZTHA ?

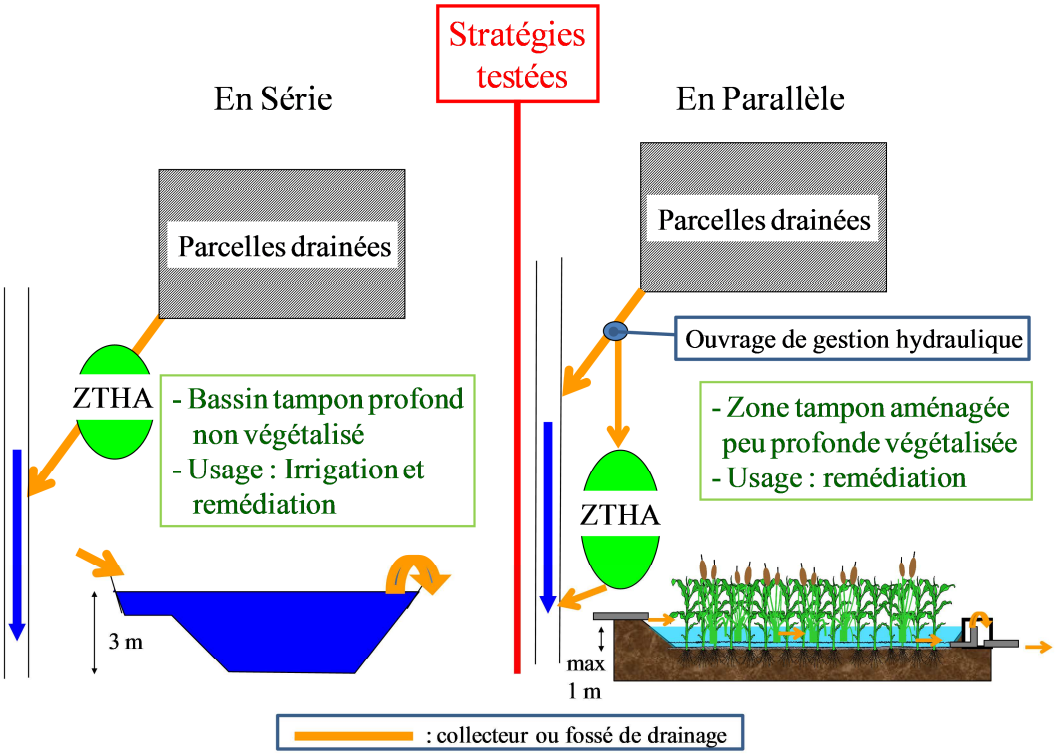
Quatre grands principes ont été retenus pour la conception des ZTHA, en s'inspirant des travaux de Mitsch et Jorgensen (2004) :

- Définir plusieurs objectifs à l'aménagement (régulation des flux dont la qualité des eaux, biodiversité, connectivité, …), mais identifier un des objectifs comme prioritaire (la qualité de l'eau dans notre exemple). Les autres objectifs seront considérés comme secondaires. L'aménagement doit être réfléchi pour répondre à une fonction recherchée (dissipation des polluants dans notre cas), produisant ainsi un service écosystémique,
- Rusticité (simplicité des ouvrages). Il est important de limiter les ouvrages de génie civil, de respecter des schémas naturels pour la morphologie.
- Emprise foncière minimale (environ 1% du bassin versant). L'objectif étant de restaurer une fonctionnalité biogéochimique et non de diminuer la fonction de production agricole.
- Elaborer l'aménagement pour un minimum d'entretien et de maintenance. L'intervention humaine doit être la plus faible possible. L'écosystème (substrats, plantes, microorganismes), doit être développé pour un entretien autonome et suivre sa propre trajectoire écologique.

Comment s'intègrent les ZTHA dans le bassin versant ?

Selon les objectifs définis dans le plan d'action (objectif nitrate ou pesticide), on distingue deux types de gestions hydrauliques des ZTHA basées sur la dynamique d'exportation des pesticides ou sur celle des ions nitrate.
Dans le cas où l'on cherche à réduire la concentration en ion nitrate dont les flux ont lieu avec tous les écoulements de drainage, la ZTHA pourra être prioritairement placée en continuité avec l'exutoire (stratégie dite en série). Dans ce cas, l'ensemble des eaux drainées transite dans la ZTHA. Cette

configuration sera moins efficace pour les pesticides en raison d'une dilution trop importante.
Dans le cas où l'on s'attache à réduire la concentration en pesticides la connaissance de leur dynamique saisonnière est essentielle. Généralement, les plus gros flux ont lieu consécutivement aux applications qui sont réalisées à la fin de l'automne et au début du printemps. Dans ces conditions, un dispositif placé en parallèle de l'exutoire (soit d'un collecteur, soit d'un fossé) associé à une gestion hydraulique (détaillée par la suite) permettra d'intercepter les eaux les plus chargées. L'implication de l'agriculteur pour la gestion de la vanne est essentielle car il connait précisément ses itinéraires techniques et donc les périodes les plus sensibles. Cette configuration aura aussi un impact positif sur les ions nitrate, mais limité en raison des plus courtes périodes d'interception des eaux de drainage dans le temps.



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

Comment les ZTHA retiennent elles les polluants des eaux de drainage ?

Les processus mis en jeu dans la rétention des polluants sont naturels : physique / chimique / biologique. Dans le cas des ions nitrates, l'absorption par les plantes et les réactions de dénitrification biologique (en conditions anaérobies) sont les principales voies d'élimination, avec une répartition annuelle respective de 15 et 85%.
Dans le cas des pesticides, de nombreuses voies sont possibles dépendant principalement des propriétés des molécules. L'usage des molécules étant très varié sur un bassin agricole, les caractéristiques des matières actives présentes

sont donc variables. Aucune voie de dégradation n'est donc privilégiée, il est recherché plutôt l'association de processus différents.
Par exemple, la sédimentation des particules fines concernera les molécules qui ont un fort pouvoir d'adsorption, la photodégradation sera stimulée par une profondeur d'eau réduite, les réactions de biodégradation seront favorisées par une grande diversité de microorganismes.
Ainsi, la végétation qui présente un rôle direct pour le ralentissement hydraulique est aussi une source d'habitat pour les microorganismes. Cet effet hydraulique permet d'accroitre le temps de séjour qui est l'allié de la rétention et de la dégradation, que ce soit pour les ions nitrate ou pour les pesticides.
Des travaux sont en cours afin de déterminer les processus et leurs optimisations au sein des ZTHA, mais aussi d'évaluer les effets négatifs liés d'une part aux accumulations de pesticides et de leurs métabolites dans les sédiments et d'autre part à la production de protoxyde d'azote (puissant gaz à effet de serre) lors d'une réaction de dénitrification incomplète.

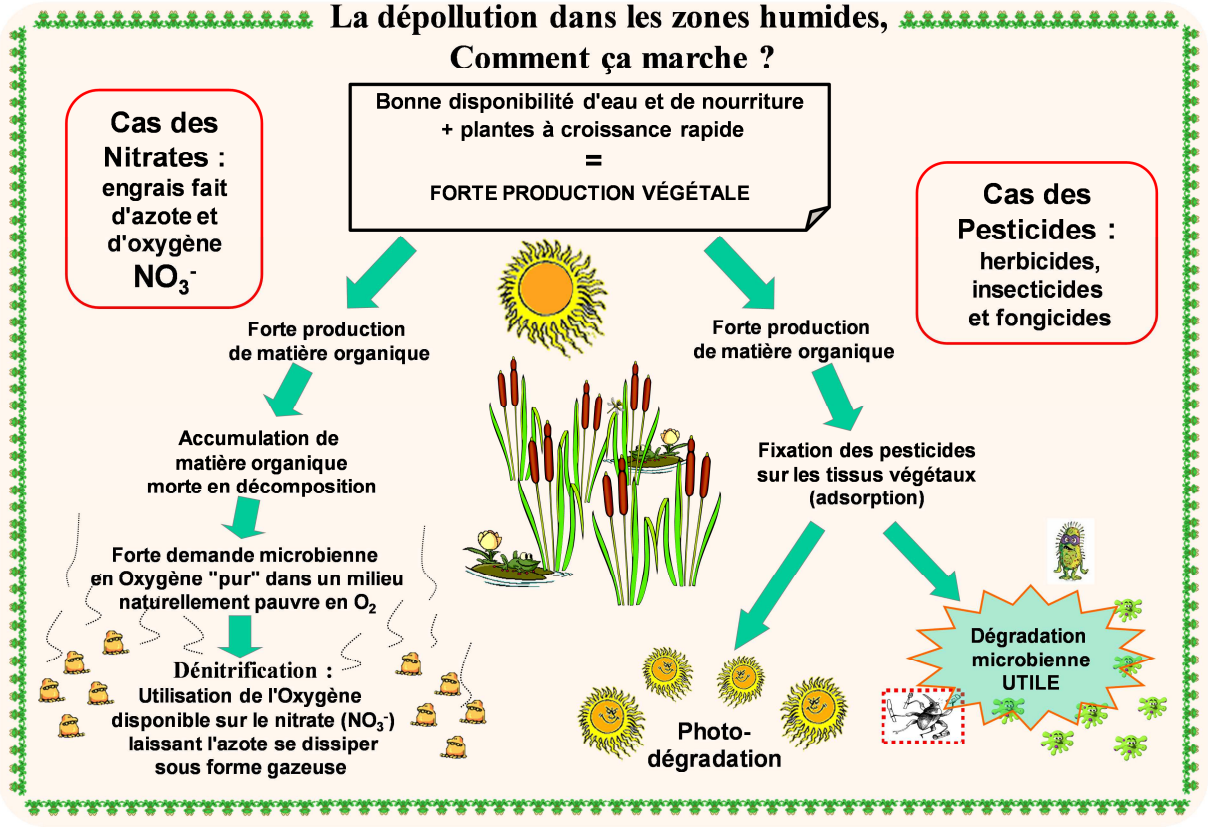


Schéma des principales réactions dans une ZTHA

Quels sont les facteurs influençant la performance de ces bassins ?

Les pratiques culturales, les propriétés du sol, les précipitations et le système de drainage influent sur le régime des écoulements et les quantités de polluants présentes dans les eaux.

ZTHA en cours de végétalisation avec une diguette centrale

Les performances des ZTHA varient donc en fonction des saisons, des années et des régions d'un pays : la température et le temps de rétention sont les principaux paramètres influençant la dégradation. Plus la température et le temps de séjour sont élevés, plus l'efficacité augmente. La végétalisation et le méandrage des bassins sont des aménagements qui permettent respectivement le ralentissement et l'augmentation du parcours de l'eau. De plus, les végétaux présents dans la ZTHA offrent également des sites d'adsorption grâce à la matière organique produite.

Quelle est la réglementation/législation ?

D'après la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006, découlant de la directive Européenne Cadre sur l'Eau, chaque création de ZTHA peut être assimilée à un bassin hydraulique (auto-épurateur), elle doit s'accompagner d'un dossier «Lois sur l'eau ». Ce dossier d'autorisation ou de déclaration est à déposer au service de la Police de l'eau de la DDT (voir section 6). Des évolutions de réglementation permettraient d'inclure les ZTHA à la réglementation sur les zones humides.

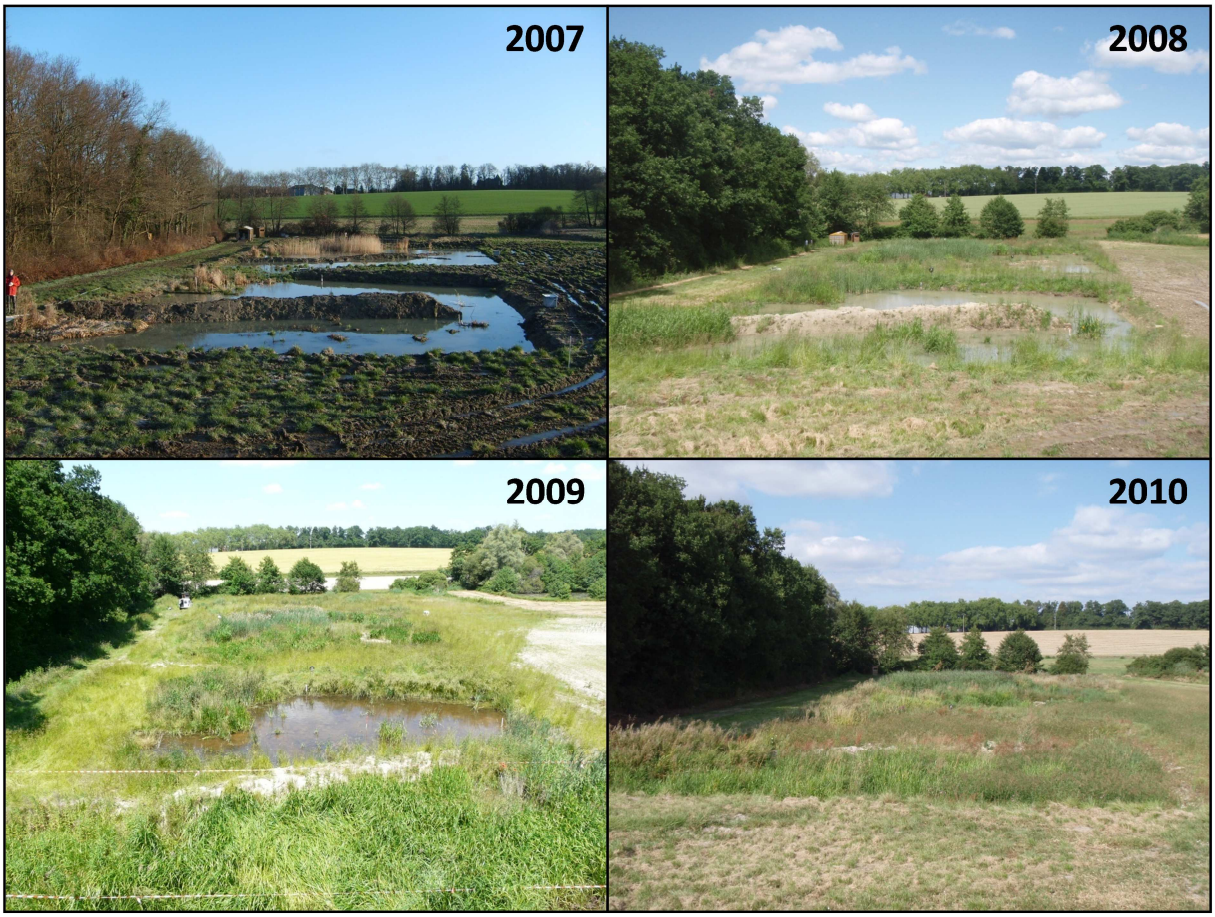


Illustration de la dynamique végétale d'une ZTHA (site de Villedomain, Indre et Loire, projet Life ArtWET, www.artwet.fr)

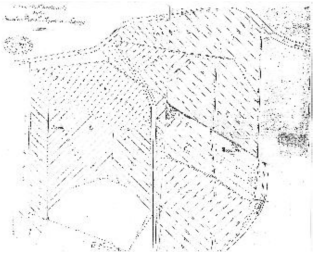
L'implantation des zones tampons humides artificielles inclut plusieurs étapes avant, pendant et après la construction.

Exutoire de la ZTHA végétalisée de Rampillon

Ce document propose une démarche déclinée en sept étapes :

Étape 1 : Le diagnostic hydrologique
Étape 2 : La localisation
Étape 3 : La conception
Étape 4 : Réglementation et financement
Étape 5 : La construction
Étape 6 : La plantation
Étape 7 : La maintenance

3 Le diagnostic hydrologique



Plan de drainage ancien

Nous insistons sur ce point crucial à mener en préalable à toute étude. La connaissance des voies de transferts hydriques au sein du bassin versant est indispensable pour déterminer les moyens d'action à mettre en œuvre et pour localiser les futurs aménagements de type ZTHA. Un bon diagnostic hydrologique partagé par tous les acteurs est la première étape du processus de co-construction.

Il faut donc définir la part du drainage agricole, du ruissellement de surface, de l'infiltration profonde directe vers les nappes permettant de justifier ou non de l'implantation de ZTHA. Les acteurs locaux, les animateurs de bassins versants, les conseillers agricoles, des bureaux d'étude sont à même de proposer un diagnostic hydrologique. Des documents du CORPEN rassemblent des méthodes. Des mesures complémentaires peuvent être envisagées dès cette étape pour quantifier les contributions des différents compartiments. Par exemple, dès la phase de réflexion, un suivi hydrologique peut être installé pour un coût réduit (mesure d'une ligne d'eau au droit d'un ouvrage). Des suivis ponctuels de profil en long (prise simultanée d'un prélèvement et du débit en différents points du bassin versant, à la même date) permettent de mieux comprendre la genèse de la qualité de l'eau.

4 La localisation

4.1 Choisir l'emplacement

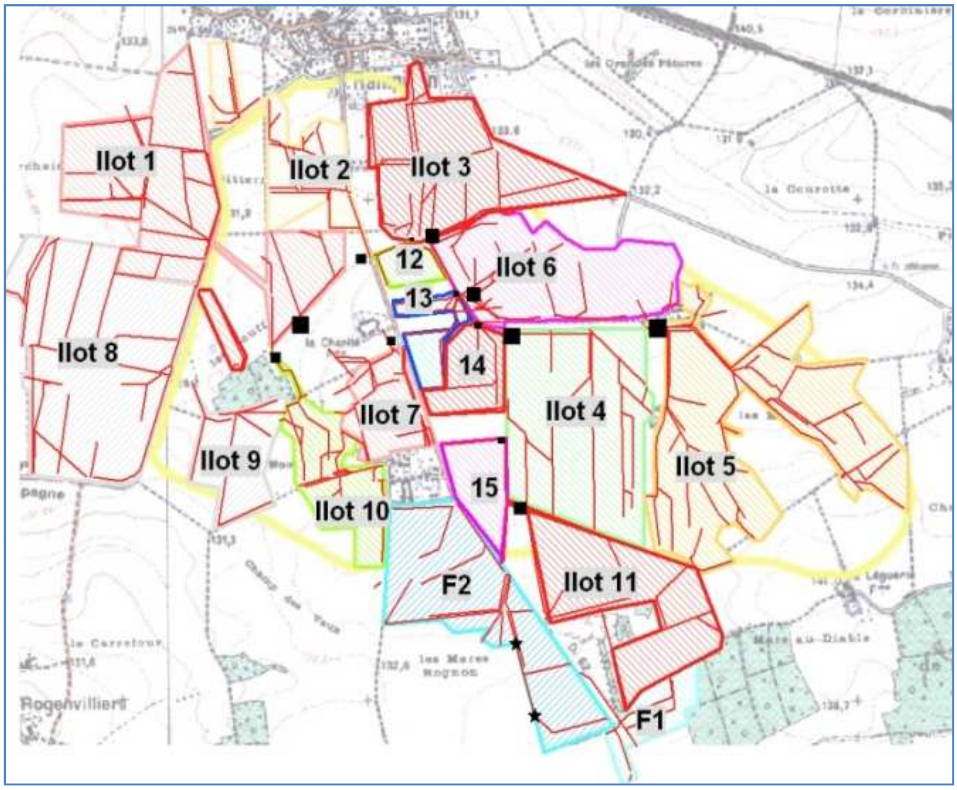
A savoir :
Si les agriculteurs ne disposent plus des plans de drainage, il est possible de les obtenir soit aux archives de la DDT, soit auprès des ASAD ou AF du bassin versant, soit auprès de cabinets de géomètres experts du secteur.

Il faut repérer les zones à fort taux de drainage, où les écoulements sont les plus concentrés et donc chargés en pesticides et en nitrate. Il est ensuite judicieux de coupler cette information avec les zones où les enjeux sur la qualité de l'eau sont importants. En Seine-et-Marne, les zones d'implantation de ces aménagements ayant un intérêt environnemental notoire, se situent à proximité de zones de gouffres, où l'eau s'infiltre directement dans les aquifères. Il est donc important de resituer la problématique des ZTHA dans le contexte de la vulnérabilité du milieu récepteur.

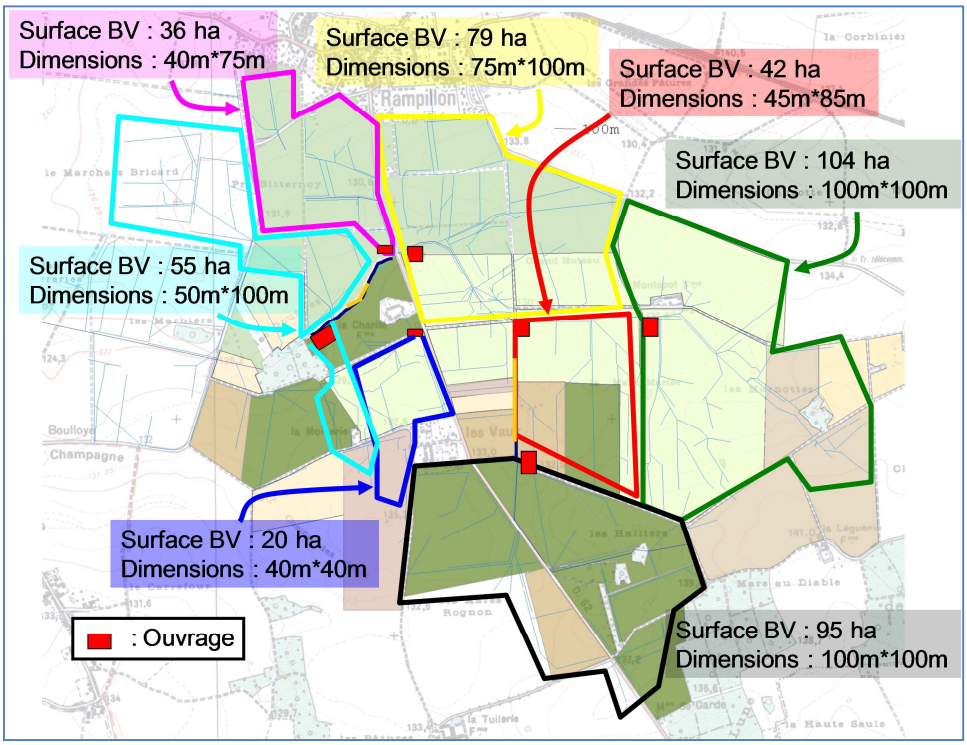
Pour cibler une échelle où les pollutions sont les plus concentrées, les ZTHA doivent être implantées en amont du bassin versant, afin de capter la pollution agricole au plus près de sa source. En effet, la dilution des polluants augmente avec l'échelle du bassin versant considéré, alors qu'il est stratégique de traiter le maximum de pollution dans un minimum de volume. Lorsqu'une zone d'intérêt est identifiée, à l'échelle d'une commune par exemple, il convient alors de déterminer et de comprendre les chemins d'écoulements de l'eau au sein des bassins et sous bassins

Exemple d’engouffrement

versants de la zone retenue. Dans le contexte du drainage, le bassin versant topographique n’est pas toujours le bassin versant réel.
Cela nécessite de repérer les réseaux de drains, leurs surfaces, les collecteurs et leurs exutoires afin d’identifier les réseaux de collecteurs regroupant en un même point (nœud) différentes surfaces drainées. L'emplacement privilégié sera donc proche d'un nœud où se rejoignent les eaux de drainage d'une surface significative d’une vingtaine à une centaine d’hectares (cf. ci-dessous : Plan de drainage du site de Rampillon et des ouvrages préconisés). Une fois un ou plusieurs emplacements précis repérés, il faut engager le dialogue avec les agriculteurs et/ou propriétaires des terrains pour les sensibiliser et les inciter à consacrer une de leurs parcelles à l'implantation de ZTHA.



Plan de drainage du site de Rampillon



Plan des ouvrages préconisés

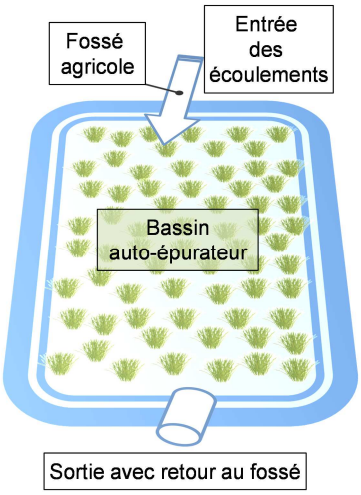


Schéma du dispositif en série dans le fossé

4.2 Choisir le dispositif en fonction de l'exutoire et de l'objectif

Comme décrit précédemment, la dynamique d'exportation du nitrate correspond à une pollution de fond qui concerne toute la masse d'eau. Dans ce cas, la stratégie en série est préconisée. Pour le cas des produits phytosanitaires il s'agit d'une pollution plus saisonnière qui requiert plutôt une interception des eaux en parallèle.

Dans le cas en série, recommandé pour les ions nitrate, la ZTHA s'intègre dans le linéaire de l'écoulement. Le cas le plus simple consiste à se placer dans le fossé d'assainissement agricole (sous réserve qu'il ne soit pas considéré comme un cours d'eau au titre de la loi sur l'eau). Alternativement, il est aussi possible de se placer au niveau du collecteur enterré, avant son rejet dans le fossé.

Lorsque l'exutoire est un cours d'eau non modifiable au titre de la loi sur l'eau, le collecteur principal de drainage ou plus rarement plusieurs tuyaux de drainage peuvent être déviés pour être dirigés vers la ZTHA, que ce soit en configuration série ou parallèle.

Dans le cas d'une gestion en parallèle, recommandée pour les pesticides, il est nécessaire de prévoir la mise en place d'un ou plusieurs tuyaux pour dévier les eaux. En association à cette dérivation, un ouvrage de type « by-pass » doit être conçu pour permettre l'ouverture / fermeture de la ZTHA.

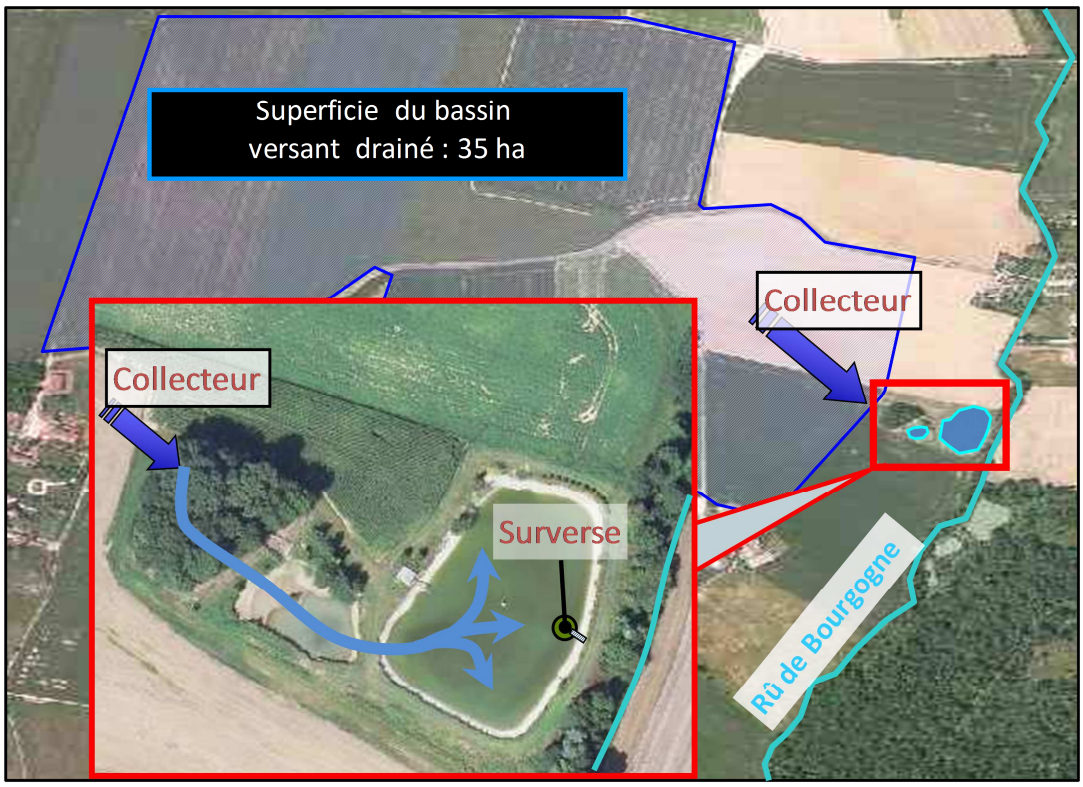


Schéma du dispositif en série en amont du cours d'eau

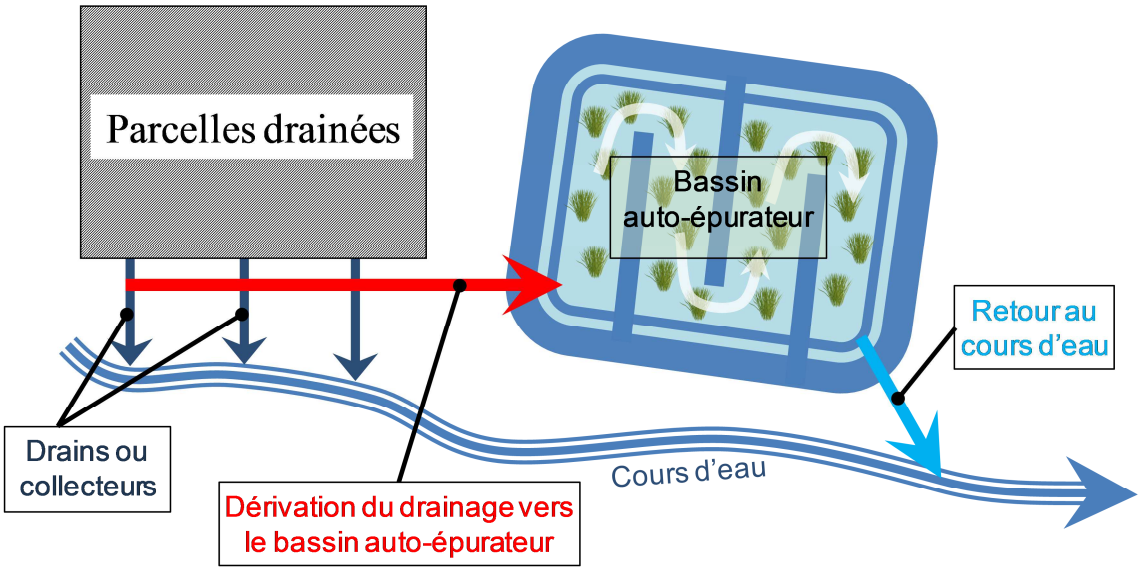


Schéma du dispositif en parallèle

4.3 Relevé topographique

Une fois que les emplacements judicieux sont identifiés sur le bassin versant, une analyse de la topographie s'impose.
Le site projeté doit présenter une dénivelée suffisante entre l'exutoire de drainage et la sortie de la ZTHA. En effet, pour permettre le stockage des eaux, une dénivelée minimum de 50 cm est requise. En condition de plateau, il arrive

fréquemment que cette configuration topographique ne soit pas disponible, ce qui conditionne fortement l'emplacement optimal.

4.4 Étude géotechnique

Fosse à la pelle mécanique, pendant l'étude géotechnique

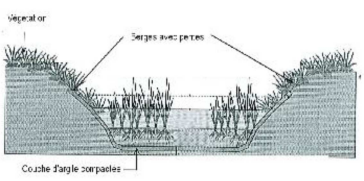
L'étude géotechnique est une phase nécessaire pour identifier les différentes strates du sol et apprécier leur étanchéité naturelle.
La qualité du sol définira si une importation d'argile est nécessaire. On privilégiera les sols limoneux à limono argileux, sols qui se rencontrent classiquement parmi les sols hydromorphes dans le contexte du drainage. Le compactage peut se faire par simple passage d'engins. Si une étanchéité artificielle par géomatériau est requise, la géomembrane (PEHD ou EPDM) doit résister aux rayonnements ultraviolets et devra être recouverte d'au moins 200 mm de sol afin d'éviter la perforation par les racines et de fournir un substrat pour la végétation. Compte tenu des coûts d'une telle étanchéité, cette solution est plutôt réservée aux aménagements industriels.

Résultats du carottage.

5 La conception

Il n'existe pas de modèle prédictif ad hoc, à ce jour. Cependant, nous proposons une première approche de dimensionnement, détaillée dans une annexe. Les données de la bibliographie et les premières études spécifiques au cas du drainage préconisent une surface de ZTHA correspondant à 1% du bassin versant contributif. Cette valeur est affinée selon les contextes de drainage, dans la suite.

5.1 Les berges



La pente des berges des ZTHA est un élément de stabilisation qui permet de limiter les phénomènes d'érosion et d'effondrement. La végétation qui y est implantée favorise cette stabilisation. L'utilisation de pente douce (fruit de 2/1 voire 3/1) assure une sécurité pour les usagers mais peut

Schéma d'un bassin avec des pentes végétalisées

réduire considérablement le volume disponible.
Il est nécessaire de considérer ce critère dans le dimensionnement afin de garantir un volume de stockage suffisant dans la ZTHA.

5.2 La forme

A éviter :
Un bassin d'étroite longueur est à éviter car la vitesse devient excessive, entrainant une diminution des temps de contact.
Ne pas mettre la sortie en vis à vis de l'entrée pour ne pas favoriser les courts circuits hydrauliques.

La forme dépend naturellement de l'emplacement disponible. Par commodité, la forme rectangulaire est en général plus fréquemment réalisée puisqu'elle est plus simple à construire et respecte mieux des limites parcellaires rectilignes. Cependant, des formes plus libres et méandrées peuvent être réalisées (cf. : schéma ci-dessous).
L'entrée et la sortie des écoulements doivent se situer aux extrêmes du chemin hydraulique imposé. Si la configuration le permet, la création de diguettes est recommandée car elle accroit le chemin hydraulique. Cette optimisation limite les zones mortes ce qui permet une circulation dans un volume plus grand. Cette circulation plus lente est propice à des temps de contacts (eau/végétation/sédiment) plus élevés pour une meilleure efficacité.

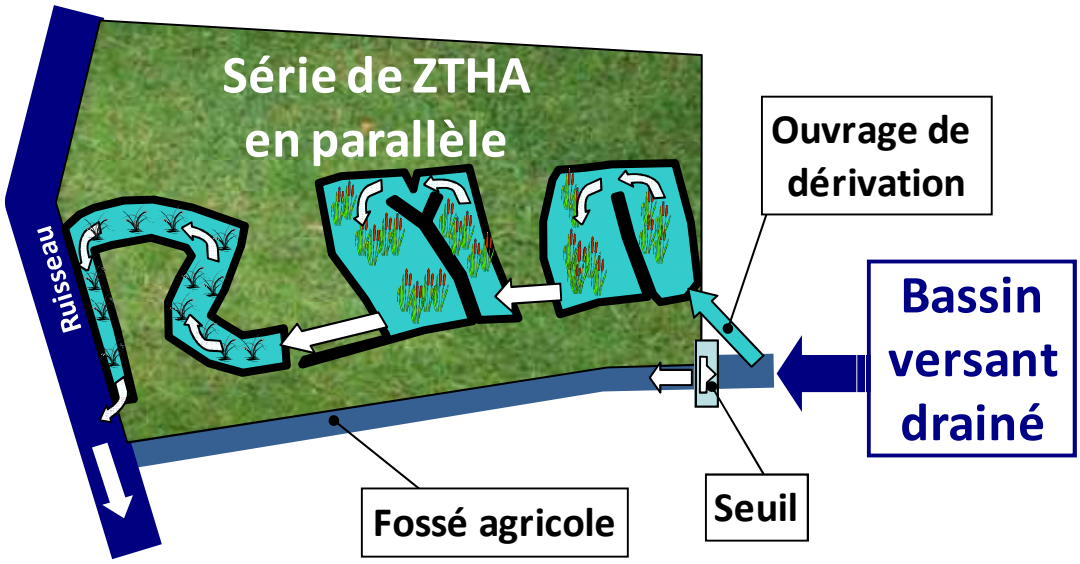
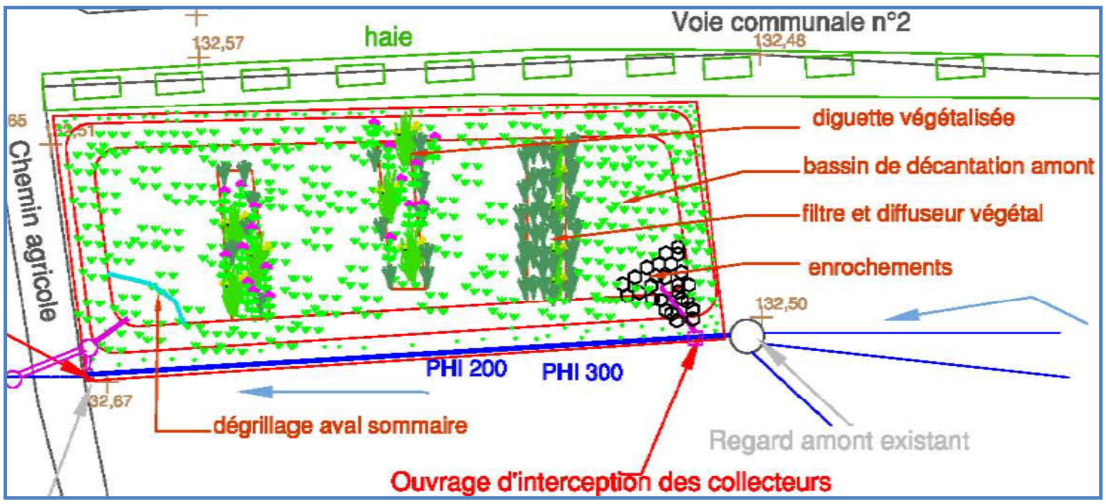
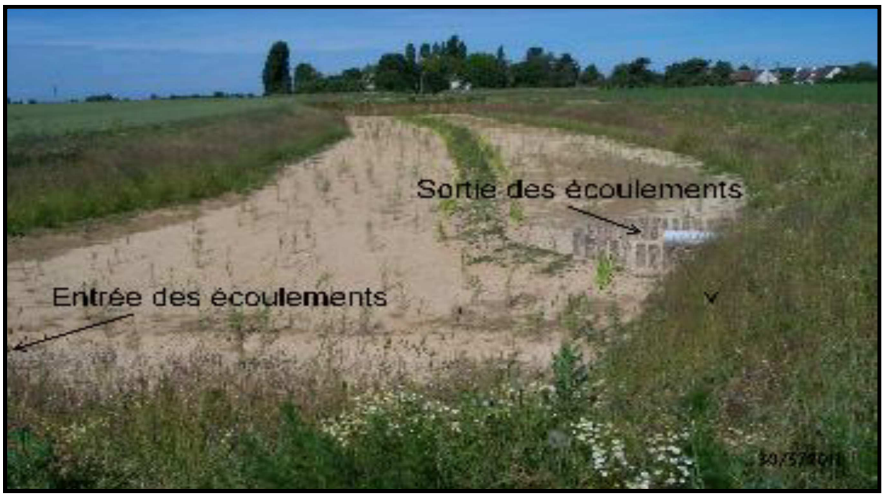


Schéma d'une ZTHA méandrée avec insertion de diguettes



Plan d'une ZTHA avec insertion de diguettes

A éviter :
Une série de diguettes trop dense avec de nombreux virages serrés provoquent des zones d'eaux mortes limitant l'efficacité du traitement.



Bassin avec entrée et sortie proches
mais séparées par une diguette centrale

Surface du bassin	Ratio Long./ larg.
Inférieure à 1000 m²	3 / 1 à 10 / 1
Supérieure à 1000 m²	3 / 1 à 5 / 1

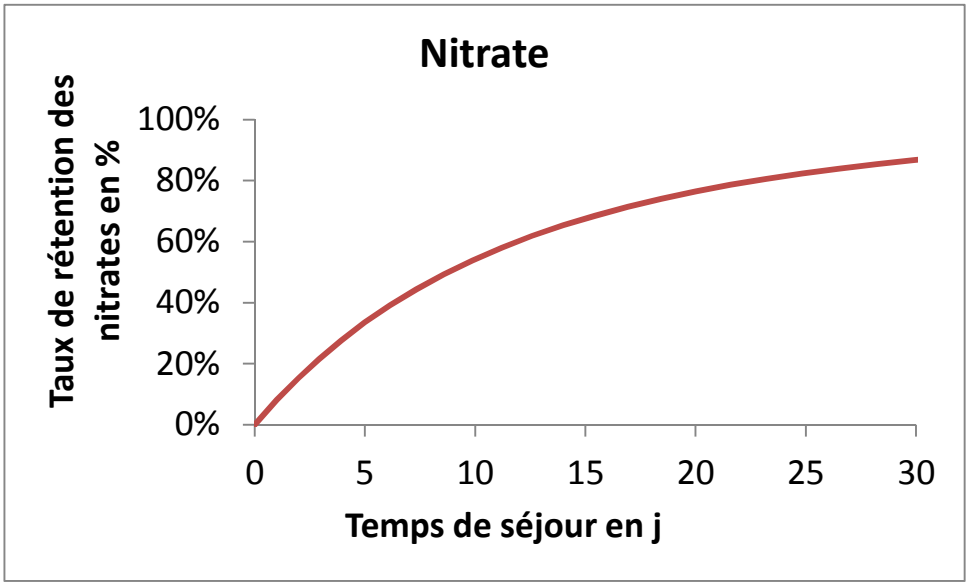
Il est également important de conserver un ratio suffisant entre la longueur et la largeur selon la surface du bassin. Pour une même surface, plusieurs ratios sont possibles selon la surface finale du bassin. Il faut donc trouver un compromis entre la géométrie de l'emplacement disponible et le ratio à conserver.

La largeur du bassin doit être uniforme pour éviter l'apparition de zones mortes. Hormis le cas où des aménagements destinés à la dispersion des eaux sont réalisés, on recommande une variation relative de la largeur inférieure à 20%

5.3 Le temps de séjour hydraulique

Le temps de séjour peut être différent si on veut dissiper les ions nitrate ou les pesticides. La courbe de la rétention en nitrate en fonction du temps de séjour hydraulique est basée sur l'approche développée par Kadlec et Wallace (2008), appelée Tank In Series. Pour les ions nitrate, un temps de séjour d'une semaine semble

suffisant pour réduire de 50% la concentration initiale.



Courbe des taux de rétention des nitrates (%) en fonction du temps de séjour dans la ZTHA (basée sur l'approche TIS de Kadlec et Wallace, 2008).

Pourquoi le temps de séjour est-il si important ?

Pour obtenir un traitement de l'eau efficace, il faut optimiser le temps de séjour. Plus le temps de séjour est long, plus le temps de contact entre les microorganismes et les polluants est important et plus la dissipation est importante.

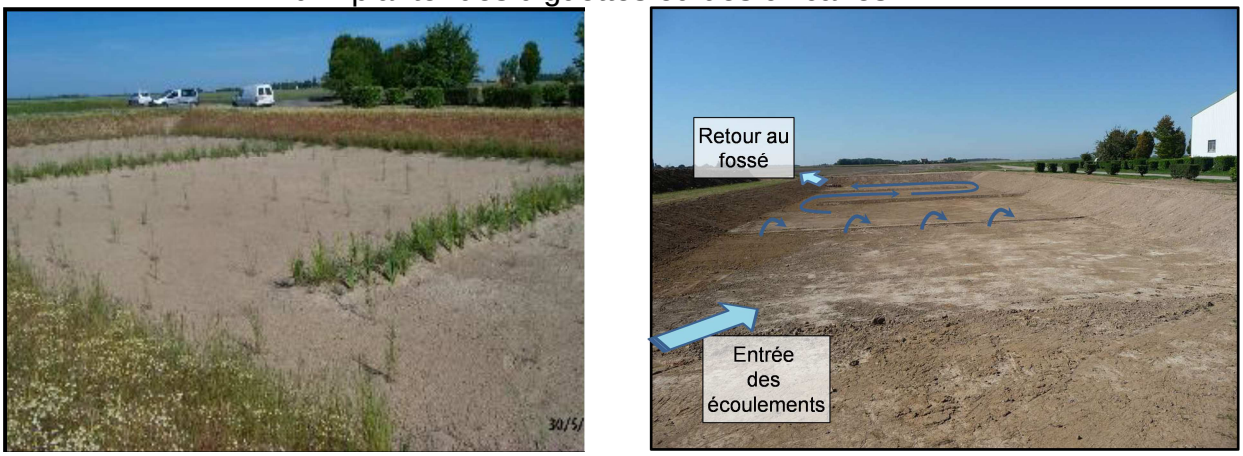
En revanche, la dégradation des pesticides peut s'avérer très longue. La détermination du temps de séjour optimal peut être basée sur l'analyse des propriétés des molécules et plus particulièrement leur persistance, qui peuvent être obtenues sur le site http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr/index.htm du projet FOOTPRINT. Les molécules sont caractérisées par différents paramètres dont le terme de demi-vie ou DT50 au champ qui est le temps nécessaire pour diminuer par 2 la concentration initiale. Sur la base des molécules appliquées sur le bassin versant, la médiane des DT50 peut être calculée en pondérant les DT50 des molécules appliquées par leur dose d'application. L'utilisation de la médiane pondérée plutôt qu'une moyenne ou une moyenne pondérée des DT50, évite de donner trop de poids aux DT50 extrêmes et la pondération permet de tenir compte des molécules majoritairement appliquées sur le bassin versant. Dans le cas des grandes cultures avec des pratiques conventionnelles, le temps de séjour idéal est évalué à 23 jours minimum. Cependant, un temps de séjour aussi long est difficile à respecter à moins d'utiliser des critères de dimensionnement contraignants pour permettre le stockage d'un volume très important. En effet, les premières crues ont en général une fréquence moyenne hebdomadaire, ce qui nécessite de stocker le volume d'environ 3 crues pour atteindre le temps de séjour de 23 jours.

Le temps de séjour de l'eau dans le système est dépendant du volume de la ZTHA et du débit qui en ressort (par débit de fuite ou par surverse).

Le temps de séjour hydraulique peut être calculé pour chaque bassin à partir du volume (V) et du débit de fuite (Qf) :

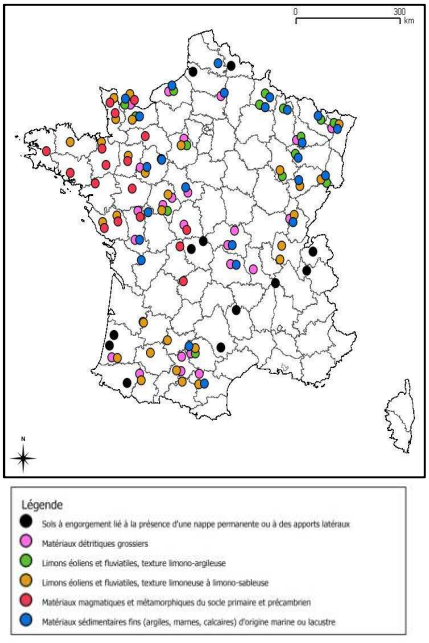
$$T(\text{en s}) = V(\text{en m}^3) / Qf(\text{en m}^3/\text{s})$$

Il est possible d'augmenter le temps de séjour en augmentant la taille ou le volume des bassins. Puis, afin de maximiser la distance et le trajet hydraulique parcouru par les eaux de drainage, il est conseillé d'implanter des diguettes ou des chicanes.



Bassin de Rampillon avec implantation de chicanes

Conseil dans le cas d'une ZTHA en parallèle :
Il faut connaître les périodes d'application des pesticides au champs pour gérer au mieux la période d'ouverture de la vanne. L'agriculteur en tant qu'acteur des pratiques agricoles est le mieux placé pour actionner l'ouverture / fermeture de la



Localisation des secteurs de référence drainage étudiés.

5.4 Le volume du bassin

Le calcul du volume sera basé sur l'analyse des débits de drainage, des temps de séjour nécessaires pour atteindre une réduction des concentrations et des objectifs globaux de réduction à l'échelle du bassin versant.
L'analyse des débits de drainage s'appuie sur :

1) Les données climatiques sur la période 1950-2010
2) Les caractérisations des sols à partir des 93 ouvrages des secteurs de référence drainage (documents élaborés dans les années 1980). Les principaux territoires drainés sont représentés mais pas de façon exhaustive.
3) La simulation des écoulements de drainage avec le modèle développé par Irstea, SIDRA-RU.

Les hypothèses suivantes ont été fixées :

- Limitation du débit d'entrée à 0,5 L/s au pas de temps journalier (ce qui correspond à un débit de pointe de l'ordre de 0,8-1 L/s)
- Temps de séjour fixé à 7 jours, basé sur l'occurrence hebdomadaire des crues, et une efficacité prédite de 50% pour les nitrates.
- Taux maximal de surverse des écoulements d'entrée, lié à un remplissage trop rapide de la ZTHA, fixé à

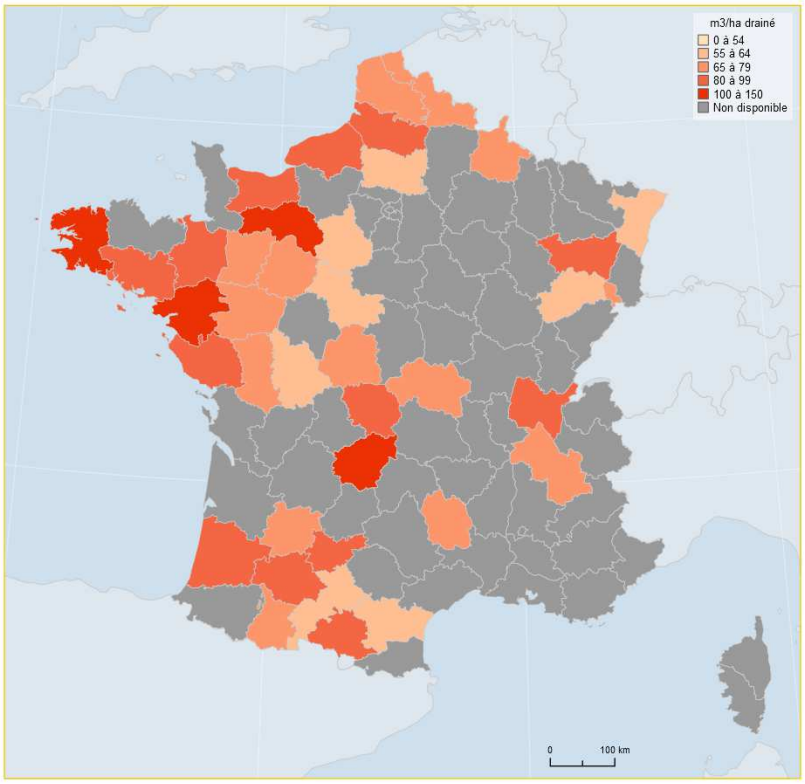
20%

- Sélection des volumes sur les mois de Novembre et Décembre

Le calcul donne un volume moyen de 76m^3 par hectare drainé, soit si on considère une hauteur d'eau de 1m, un ratio surface de la ZTHA sur surface drainée contributive de 0,76%.

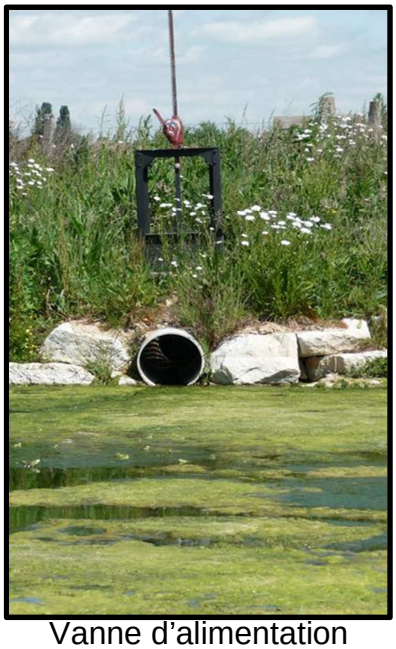
Les critères présentés sont proposés à titre d'exemple, nous semblant être le plus cohérent avec la dynamique des transferts de pesticide en contexte de drainage agricole. Ils mériteraient d'être discutés avec les acteurs en fonction des objectifs fixés pour la ZTHA.

Volume de ZTHA



Cartographie des volumes calculés pour les mois de Novembre et Décembre de ZTHA en m3 par hectare drainé, sous les hypothèses 1) Débit d'entrée journalier <0,5L/s ; 2) Temps de séjour = 7 jours ; 3) Taux de surverse <20%

5.5 Règle d'ouverture / fermeture des vannes :



Vanne d'alimentation du bassin

Les travaux d'Irstea ont montré que 90% des flux de pesticides exportés par drainage s'effectuent pendant les 3 premières crues après application. Statistiquement, nous mesurons une crue par semaine. Ainsi, 3 à 4 semaines semblent nécessaires dans ce cas.

Toutefois, le caractère aléatoire des crues impose une gestion de l'ouvrage basée sur la réalité de terrain. L'observation du passage de 3 crues serait donc plus adaptée, mais sans suivi automatique il est bien délicat d'identifier les écoulements à risques.

Nous considérons, à partir de mesure de terrain, que 90% du flux annuel d'un pesticide est exporté dans les 3ières crues suivant son application au champs. Pendant la période d'amorce du drainage (Octobre – Novembre – Décembre), le volume cumulé de drainage de ces 3 crues est d'environ 10 mm, généré par une pluie de 50 mm correspondant à la pluie mensuelle. C'est pourquoi nous préconisons une période d'ouverture de la ZTHA correspondant à **50 mm de pluie cumulée après l'observation de la reprise des écoulements de drainage de la fin de l'automne.**

L'agriculteur observe régulièrement la pluviométrie qui touche directement son outil de travail et cette méthode rustique garantit plus d'efficacité sur l'interception par la ZTHA des écoulements ciblés, qu'une durée fixe d'ouverture après application.

Une seconde période d'ouverture cible les écoulements qui suivent les premiers traitements effectués au printemps. Ces applications ont généralement lieu fin Mars début Avril, et là encore c'est l'agriculteur qui est acteur pour manœuvrer la vanne. Elle reste ensuite ouverte pendant l'été pour éviter le dessèchement de la végétation et ne sera refermée qu'à la fin de l'été en septembre.

5.6 Les ouvrages d'alimentation et d'évacuation

5.6.1 Alimentation gérée par une vanne et un seuil

ZTHA ouvertes

Pour les dispositifs en parallèle (objectif d'abattement des pesticides), l'entrée des eaux dans la ZTHA est gérée par l'ouverture ou la fermeture d'une vanne en connexion avec le fossé d'assainissement agricole, ou avec le collecteur de drainage dans un regard.

Pour le fossé, on peut utiliser des canalisations PVC associées à une vanne guillotine ou à un système de coudes orientés vers le bas ou vers le haut comme illustré dans la photo ci-contre. La cote de la génératrice inférieure du tuyau doit néanmoins être placée suffisamment basse pour intercepter les premiers écoulements.

Dans le cas du regard, la mise en place d'un seuil en « V » en face du collecteur relié à l'exutoire favorise la dérivation des flux en direction du bassin. Ce seuil constitue, pendant la

ZTHA fermées

phase de remplissage de la ZTHA, un obstacle partiel à l'écoulement des eaux mais il permet tout de même le passage d'éventuels pics de crue dans la configuration initiale du collecteur. Ces pics ne seront donc pas interceptés par la ZTHA pour éviter un fort effet piston ne permettant plus d'assurer le temps de séjour escompté.

Enrochement à l'arrivée dans la ZTHA

Au niveau du débouché d'entrée de la ZTHA, il est nécessaire de prévoir un enrochement pour prévenir l'érosion causée par la chute d'eau au risque de voir l'ouvrage s'affaisser.

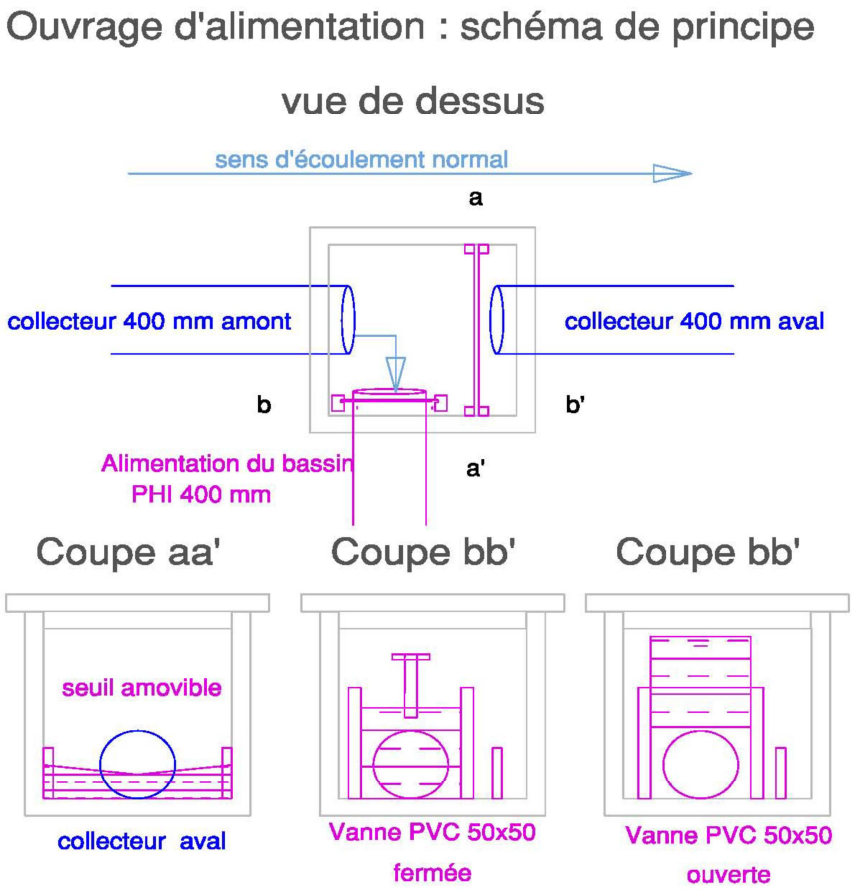


Schéma général du seuil et de la vanne

5.6.2 Les ouvrages d'évacuation

Ouvrage de sortie

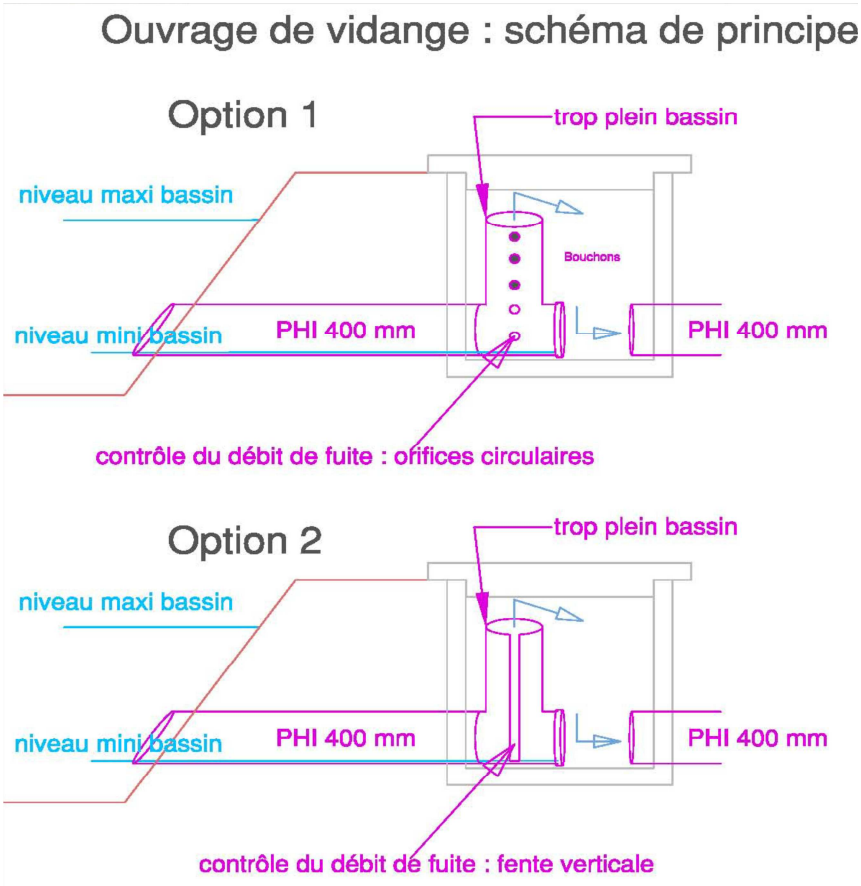
L'ouvrage de sortie du bassin doit être protégé, par exemple, par un cercle de pieux en bois espacées de quelques centimètres. Cette protection permet de protéger la prise d'eau et de limiter l'intrusion de débris flottants dans le tuyau, réduisant ainsi son potentiel colmatage.

L'ouvrage de vidange doit garantir d'une part un débit de fuite, mais aussi une surverse dans le cas d'une trop forte alimentation de la ZTHA. Nous proposons alors un système basé sur un coude PVC intégré dans un regard de type génie civil. Ce coude est ajouré soit par une ou plusieurs fentes soit par une série de perçages à différents niveaux comme

indiqué dans le plan ci-dessous.
Le débit de fuite n'est donc pas constant puisqu'il est d'autant plus élevé que le tirant d'eau du bassin est important.
Il faut noter que le risque de colmatage doit être résolu, car la petite dimension des fentes ou des opercules est très propice au bouchage.

Conseil :
Le diamètre des ouvrages d'évacuation des eaux doit être identique à l'entrée et à la sortie du bassin, le dimensionnement des collecteurs originaux doit être conservé. De plus, la pente de ces derniers doit être identique par rapport à celle d'origine.

Ouvrage de vidange



Plan de l'ouvrage de vidange

5.7 Les sédiments

La sédimentation se déroule principalement en entrée du bassin. L'enrochement situé sous l'arrivée dans la ZTHA permet de dissiper l'énergie liée à la vitesse et à la chute d'eau éventuelle. Ceci est propice à la sédimentation et à une bonne répartition sur la largeur amont de la ZTHA.
Ainsi, la vitesse devient beaucoup plus faible que dans les réseaux de drainage ce qui permet la sédimentation des matières en suspension (MES) des eaux de drainage. Ces particules fines peuvent s'accumuler rapidement au fond du bassin et il est donc important d'augmenter la profondeur en entrée de la ZTHA de l'ordre de 20 à 30 cm, pour éviter un curage trop fréquent de cette zone. Les sédiments vont permettre le début de l'accumulation des pesticides par adsorption.

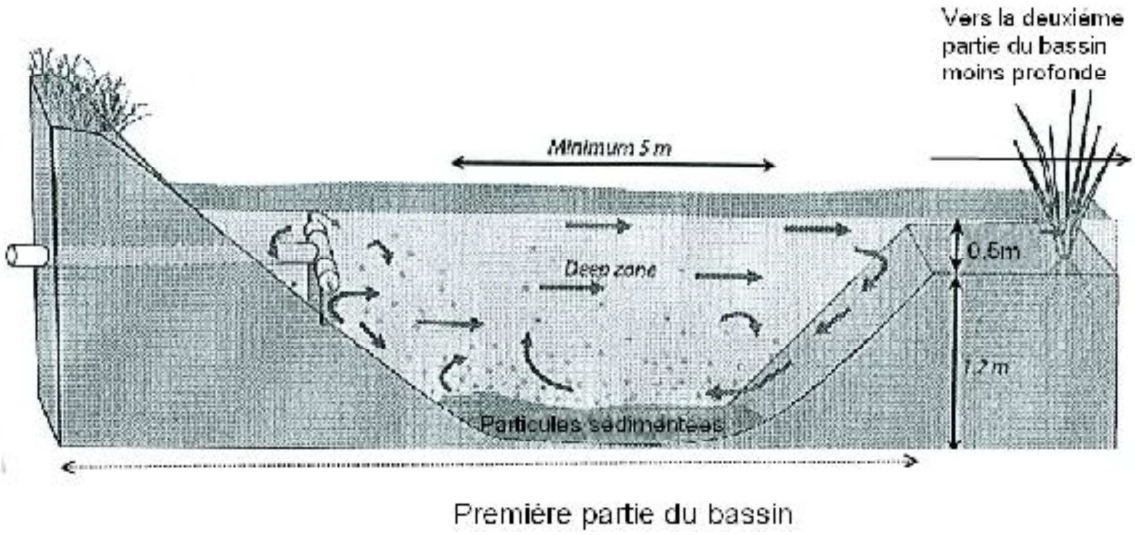


Schéma représentant la sédimentation en début de bassin

6 Réglementation et financement

6.1 Réglementation

Les travaux font l'objet d'une procédure loi sur l'eau. Les "Installations, Ouvrages, Travaux et Activités" (IOTA) ayant un impact potentiel sur l'eau et les milieux aquatiques, sont soumis à la législation "Eau et milieux aquatiques ", du 30 décembre 2006, présente dans le livre II dans la partie réglementaire du code de l'environnement au chapitre IV: "Activités, installations et usage".
Ils sont classés selon une procédure d'autorisation ou de déclaration. Cette nomenclature figure à l'article R 214-1 du Code de l'environnement.
Les travaux d'aménagements des ZTHA assimilés à des bassins de dépollution des eaux de drainage sont concernés généralement par les rubriques de déclaration :

3.1.2.0: Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau sur **une longueur de inférieure à 100 m.**

3.2.2.0: Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau avec une **surface soustraite supérieure ou égale à 400 m2 et inférieure à 10 000 m2.**

3.2.3.0: Plans d'eau, permanents ou non dont la superficie **est supérieure à 0,1 ha mais inférieure à 3 ha**. La constitution d'un dossier « Loi sur l'eau » s'effectue auprès du service Police de l'eau à la DDT, en lien avec les services de l'ONEMA.

Conseil :
Pour les agriculteurs, d'éventuelles aides sont possibles : les MAET, les PVE, et l'implantation d'éléments topographiques.

Dans ce cas, se rapprocher du service agriculture et développement durable de la DDT.
Il est possible de solliciter l'aide financière des agences de l'eau, des conseils régionaux et départementaux.

6.2 Coût de construction

Dans la région Ile-de-France en 2010, le coût moyen de terrassement d'une ZTHA est estimé à 4,50 € du m^3 pelleté. Il comprend seulement la main-d'œuvre et le creusement, l'étude et le transport de la terre évacuée ne sont pas compris dans cette estimation. En province, il est d'environ de 2 € du m^3 pelleté. Par exemple, pour un volume de 1 000 m^3 (sans nécessité d'imperméabilisation), le coût en terrassement de l'installation est de :

en Ile-de-France = 1 000*4,50 = 4 500 €

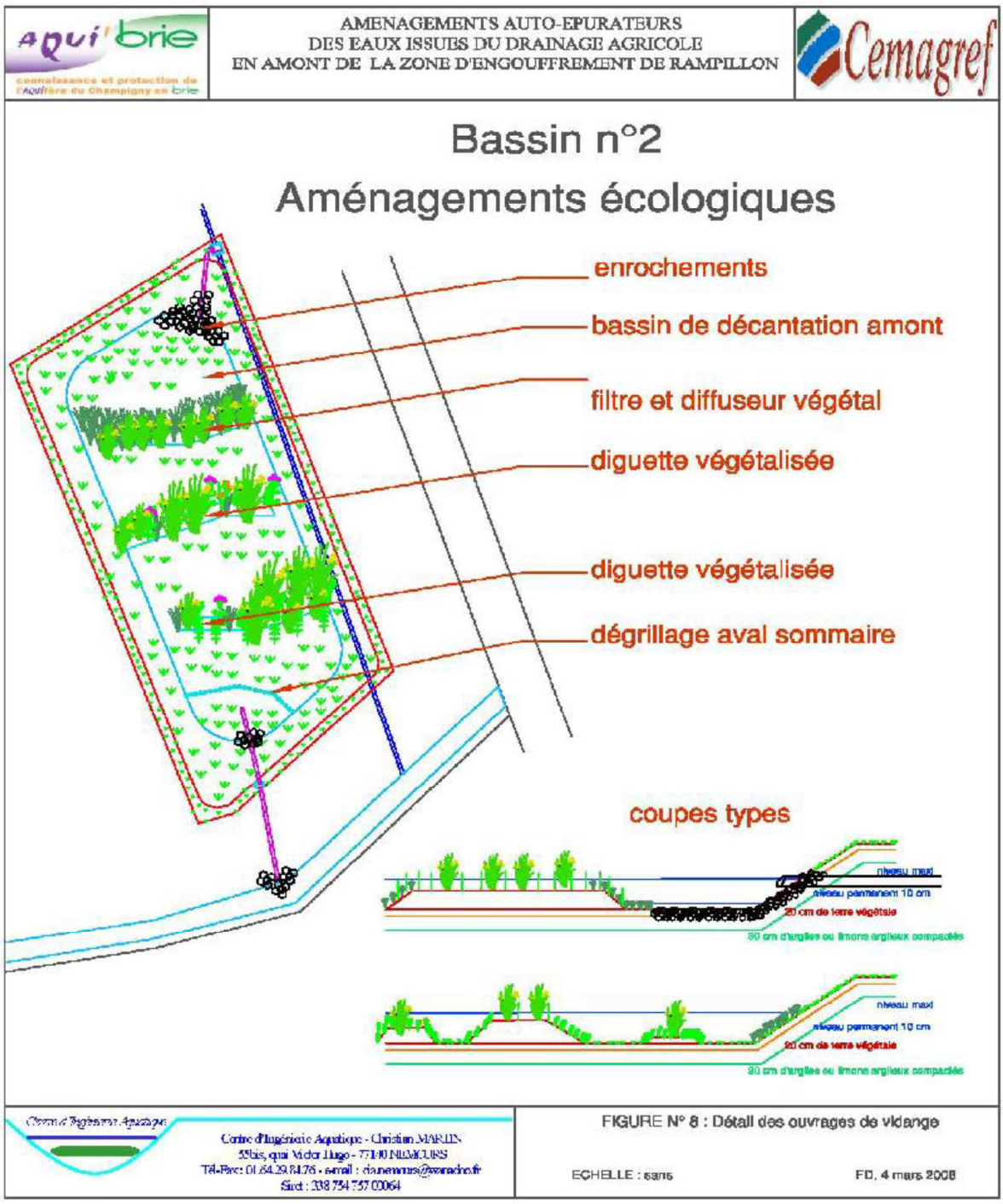
en province = 1000* 2 = 2 000 €

A cela s'ajoutent les coûts concernant les ouvrages d'entrée et de sortie évalués à 1000 € chacun, et les études (géotechnique, topographique et d'ingénierie) pour environ 2000 €. Soit un prix pour une ZTHA de 1 000 m^3 de 6 000 à 8 500 €.

7 La construction

7.1 Consultation

Le maitre d'ouvrage consulte le maitre d'œuvre pour engager les études de conception. Le maitre d'ouvrage (agriculteur ou structure collective) doit donc effectuer un cahier des charges précis reprenant les éléments du diagnostic hydrologique, et comprenant une étude géotechnique et le plan du site réalisé par un géomètre. Ce plan comprend les pentes du bassin, les ouvrages d'alimentation et de sortie, les sites d'implantation des diguettes et les différentes profondeurs à partir desquelles il faut creuser. Le volume de terre à enlever en est déduit. Ce cahier des charges permet également d'identifier le type et la quantité de végétation à implanter dans la ZTHA par un paysagiste.
Le maitre d'œuvre organise ensuite la mise en concurrence des entreprises pour la réalisation des travaux. A partir du cahier des charges, les entreprises définissent le montant de l'ensemble des travaux. Ensuite, le maitre d'œuvre choisit l'entreprise qui lui correspond le mieux pour effectuer les travaux.



Plan d'un site de Rampillon

7.2 Terrassement

Après l'étude géotechnique qui évalue la faisabilité technique de compactage des sols garantissant une étanchéité des ZTHA, le gros œuvre peut débuter.

Le terrassement consiste à creuser la parcelle pour obtenir la profondeur et la géométrie souhaitées de la ZTHA selon les pentes indiquées par le plan du géomètre. Les travaux de terrassement sont à réaliser lors de périodes sèches ou bien ressuyées (Avril à Septembre).
Dans des conditions hydriques défavorables, les travaux

seront en revanche proscrits.
Lors de l'excavation il est recommandé de réserver la couche superficielle (20 à 30 premiers centimètre) qui est plus riche en matière organique. Cette terre sera ensuite remise en place en fond de bassin afin de fournir un substrat suffisamment riche et structuré pour permettre une reprise rapide des végétaux à implanter. La cote du fond de fouille réalisé doit donc bien prendre en compte cette dernière étape de remblai pour satisfaire la cote spécifiée sur le plan.

Terrassement d'un bassin de Rampillon

Compactage

7.3 Compactage et ajout éventuel d'argile

Après avoir obtenu la profondeur de bassin souhaitée, dans le cas où la proportion d'argile dans le sol est insuffisante, l'ajout d'une couche imperméable est préconisée par apport d'argile. Il faut ensuite compacter le sol par passage d'engin pour optimiser la propriété d'imperméabilité de cette couche.

7.4 Ouvrages complémentaires

Les diguettes sont formées à partir de la terre excavée. Leur pente de talus doit être suffisante pour assurer leur stabilité.

Mise en place des diguettes

Les ouvrages hydrauliques d'entrée et de sortie des eaux comme la vanne et le seuil sont installés après la formation des diguettes.

Structure d'entrée

Seuil et vanne dans un regard

Structure d'évacuation

8 La plantation

En dernière étape, les plantes sont introduites dans la ZTHA selon la hauteur d'eau prévue dans le bassin. Cette opération se réalise idéalement dans un bassin bien humide mais non rempli.

8.1 Le rôle des plantes

Les plantes sont essentielles au bon fonctionnement de l'écosystème de la ZTHA pour plusieurs raisons :

- Constituer un support à la croissance du biofilm, contenant une bonne partie des microorganismes.
- Produire de la biomasse, source de matière organique favorable aux différents processus de dégradation et notamment celui de dénitrification.
- Ralentir les écoulements, augmentant ainsi le temps de rétention de l'eau et des pesticides, et favorisant la sédimentation des particules.
- Assurer un ombrage à la surface de l'eau, permettant la diminution de la croissance des algues.
- Réduire l'érosion des berges et des diguettes par dissipation du vent et stabilisation par les racines.

Enfin les plantes constituent un maillon de l'écosystème essentiel à l'implantation de la microfaune et procurent un aspect esthétique notable propice à la biodiversité.

Conseil :
Les plantes doivent être des essences locales, adaptées aux écosystèmes déjà présents. Les espèces invasives sont à exclure. Les plantes adaptées aux zones immergées.

8.2 Les zones de plantations

Les bassins épurateurs présentent trois zones avec différents tirants d'eau favorables à l'implantation de végétaux plus ou moins adaptés à l'immersion :

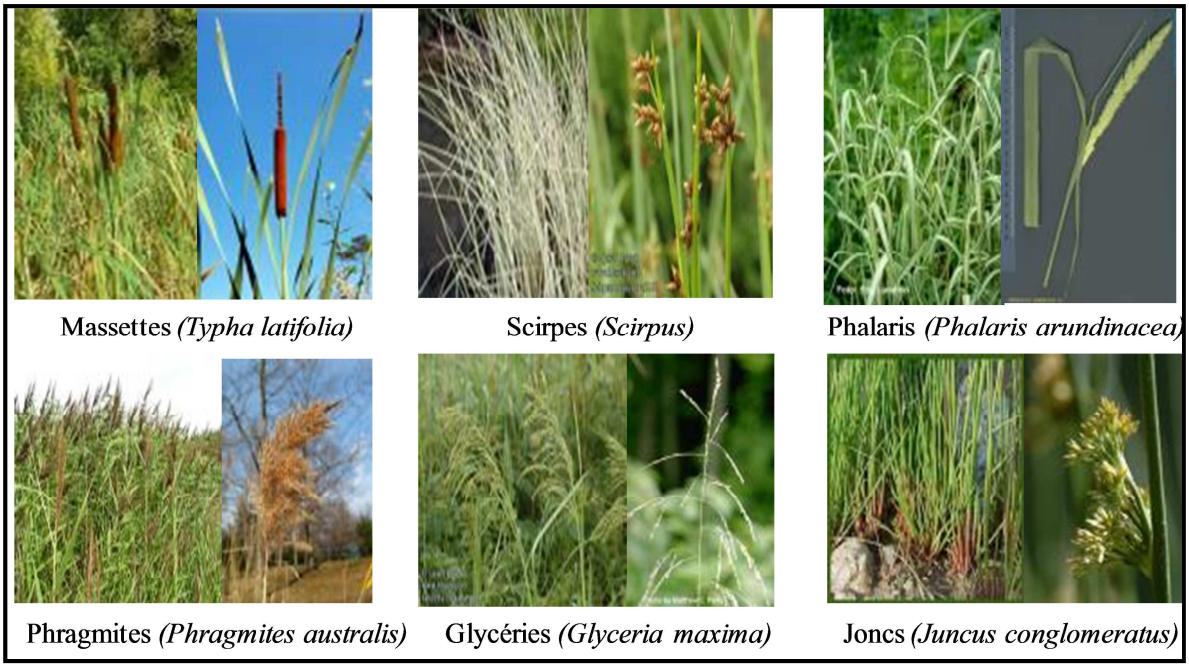
- La zone immergée d'eau
- la zone semi-immergée sur la berge
- la zone émergée au niveau de la berge

Les plantes, situées dans la partie immergée du bassin, participent au traitement de l'eau. La végétation en zone semi-immergée stabilise les berges et les diguettes, exclue les mauvaises herbes et aide à promouvoir la biodiversité.

Travaux de végétalisation d'un bassin

8.3 Les plantes adaptées aux zones immergées

Les macrophytes comme le roseau, le scirpe, la massette, les nénuphars sont choisis pour leur résistance aux grandes variations de hauteur d'eau, Ces plantes en période de senescence, apportent une source carbonée, favorable à la dénitrification. Elles résistent également à l'invasion de mauvaises herbes et ont tendance à dominer les autres espèces vis-à-vis des nutriments.



Exemples de plantes sélectionnées pour les ZTHA de Rampillon

8.4 Zones semi-immergées et zones de berges

Ces espèces de plantes, dont les tiges sont plus petites, permettent la réduction de l'érosion des pentes, la réduction des mauvaises herbes et la création d'une diversité d'habitat. Sur les ZTHA de Rampillon, les espèces utilisées sont les suivantes.

Agrostis stolonifera

Festuca arundinacea

Juncus inflexus

Ranunculus flammula

Eleocharis palustris

Alopecurus geniculatus

8.5 Les conseils techniques de plantation

ZTHA de Rampillon végétalisée

Conseil :
Si l'endroit choisi est recouvert d'adventices, il est conseillé, avant la plantation, de les arracher manuellement.
Tout désherbage chimique (utilisation de produits phytos.) est à proscrire.

L'implantation artificielle de la végétation permet de stimuler la dynamique végétative de la ZTHA. La plantation ne garantis pas néanmoins le résultat final à l'équilibre écologique, la trajectoire écologique étant propre à chaque contexte. Elle doit s'effectuer assez rapidement avant que le bassin soit envahi par les adventices. Les étapes de la plantation sont les suivantes :

8.5.1 La saison de plantation

Il est préférable de planter la végétation lorsque la ZTHA est déjà humide mais non remplie. Eviter également des plantations trop tardives à l'entrée de l'hiver au risque de voir geler les jeunes plants trop sensibles.
Les plantations se font idéalement au printemps lors de la reprise végétative, ce qui assure une croissance rapide des plantes. Il faut compter de deux à trois ans pour obtenir une bonne couverture végétale.

8.5.2 Comment réaliser la plantation

Par mètre carré, il est recommandé de planter manuellement 3 à 4 plants. Les transplantations doivent être bien ancrées dans le sol pour ne pas flotter ou être emportées lorsque le

niveau de l'eau augmentera. Les plants doivent avoir déjà développés leurs racines et leurs rhizomes.

8.5.3 Niveau d'eau minimum pour les plantations

Pendant la plantation, le niveau de l'eau dans le bassin doit être maintenu à environ 150 mm au dessus du niveau du sol. Si les plantes sont implantées en sol sec, l'eau doit ensuite être disponible rapidement pour recouvrir partiellement la nouvelle plantation.

Pour maintenir la végétation pendant la période estivale (période de très faible débit voire nul), il peut être envisagé de réduire le débit de fuite à partir du mois de mai. Si le contexte topographique le permet, la cote du fond de la ZTHA peut se situer à une dizaine de centimètres en dessous de l'ouvrage d'évacuation. Ce volume contribuera ainsi aux besoins des macrophytes dans la plupart des conditions climatiques.

Conseil :
L'été, les plantes doivent pouvoir résister aux conditions de sécheresse.
Il faut néanmoins faire attention à l'invasion des mauvaises herbes pendant ces périodes.

9 La maintenance

9.1 Les plantes

Les premiers mois après l'implantation de la végétation, il est important de contrôler la progression des adventives et de contrôler le niveau de l'eau. Ensuite, il faut observer si les plantes n'ont pas de problèmes d'implantation majeure et si elles ne sont pas endommagées par des animaux nuisibles (comme les ragondins).

Concernant l'entretien, nous différencions la ZTHA des abords et berges.

Les travaux d'entretien des abords de la ZTHA comportent des opérations de fauche régulière (2 fois par an) de la végétation. En revanche, la végétation à l'intérieur de la ZTHA peut être laissée sans entretien afin de bénéficier de ses services écosystémiques. Il faudra toutefois après une période de 5 à 10 ans, vérifier que la ZTHA n'est pas comblée par les débris végétaux et que le volume de stockage n'est pas fortement réduit. Dans ce cas, il faudra prévoir un curage.

9.2 Les ouvrages hydrauliques

L'entretien des ouvrages hydrauliques passe par l'observation des blocages possibles des tuyaux d'entrée et de sortie. Il faut néanmoins prévoir le nettoyage des grilles des ouvrages d'alimentation et de vidange, la maintenance des organes de régulation (vanne, seuil, coude PVC) et le nettoyage des regards.

Le contrôle et la visite des ouvrages doivent être effectués toutes les 2 semaines pendant les périodes de fonctionnement et une fois par mois hors période d'écoulement.

9.3 La ZTHA

Il est important de lutter contre la dégradation des talus par l'érosion et par les animaux (ragondins, lapins…). Plusieurs visites de contrôles peuvent être réalisées sur toute l'année.
Dans la partie amont du bassin correspondant à la zone de sédimentation, il est nécessaire de prévoir un curage. En fonction de la charge en matières en suspension, cette opération doit être effectuée tous les 5 à 10 ans.

9.4 La sécurité

Des panneaux signalétiques sont à disposer autour du bassin pour avertir le public de la présence d'un plan d'eau, dans lequel il est interdit de se baigner. Dans le cas où le passage de public est important, il est possible d'entourer le bassin d'une clôture pour prévenir tout risque d'intrusion.
Dans une démarche préventive, une faible pente de berges permet aussi la remontée plus aisée de personnes éventuellement tombées dans l'eau. A Rampillon par exemple, une pente de 3 pour 1 a été retenue, ce qui signifie que pour une dénivelée du bassin de 1m, la longueur de la berge vaut 3m.

Panneau signalétique

10 Bibliographie

Images :

Irstea - Cemagref Antony, 2010 / 2011 / 2012, *Photos de Rampillon*.

Molina Sophie, 2011, *Photos de Rampillon*.

Tela Botanica, 2011, *Les plantes adaptées aux zones semi-immergées et aux zones de berges* http://www.tela-botanica.org/eflore.

Tanner C.C., Sukias J.P.S., Yates C.R, 2010, New Zealand Guidelines: Constructed Wetland Treatment of Tile Drainage, Niwa Information Series No 75, National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd.

Centre d'Ingénierie Aquatique et Ecologique (CIAE, Nemours) : schéma technique

Textes :

Fisher, J., Acreman, M.C. 2004. Wetland nutrient removal: a review of the evidence. Hydrol. Earth Syst. Sc. 8 (4): 673-685.

Kadlec, R.H., Wallace, S.D., 2008. Treatment Wetlands, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 1016.

Mitsch W.J. and S.E. Jørgensen (2004) Ecological Engineering: Ecological Engineering and Ecosystem Restoration" John Wiley and Sons, Inc., New York. 411p.

Tanner C.C., Sukias J.P.S., Yates C.R, 2010, New Zealand Guidelines: Constructed Wetland Treatment of Tile Drainage, Niwa Information Series No 75, National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd.

Tournebize J., Chaumont C., Fesneau C., Guenne A., Vincent B., 2010, *Zones humides-Epuration des eaux de drainage, Synthèse des travaux de la convention n°105195, Période 2008-2010*, Cemagref d'Antony.

Tournebize J., Passeport E., Chaumont C., Vincent B., 2010, *Rapport d'activité 2010: Les zones tampons humides artificielles, Synthèse bibliographique, Mise en oeuvre dans le cadre de trois études AAC*, Cemagref Antony.

Tournebize J., Gramaglia C., Birmant F., Bouarfa S., Chaumont C., Vincent B. (2012) Co-design of constructed wetlands to mitigate pesticide pollution in a drained catch-basin: a solution to improve groundwater quality. Irrigation and Drainage 61:75-86. DOI: 10.1002/ird.1655.

Tournebize J., Vincent B., Chaumont C., Gramaglia C., Margoum C., Molle P., Carluer N., Gril J.J. (2011) Ecological services of artificial wetland for pesticide mitigation Socio-technical adaptation for watershed management through TRUSTEA project feedback. Procedia Environmental Sciences 9:183-190.

Tournebize, J., E. Passeport, C. Chaumont, C. Fesneau, A. Guenne and B. Vincent (2013). "Pesticide de-contamination of surface waters as a wetland ecosystem service in agricultural landscapes." Ecological Engineering 56: 51-59.