Le Cemagref

Limiter les transferts des polluants d'origine agricole dans les bassins versants

Dr TOURNEBIZE Julien
Unité de Recherche « Hydrosystèmes et Bioprocédés »
Cemagref, Groupement d'Antony

eau - territoires - développement durable

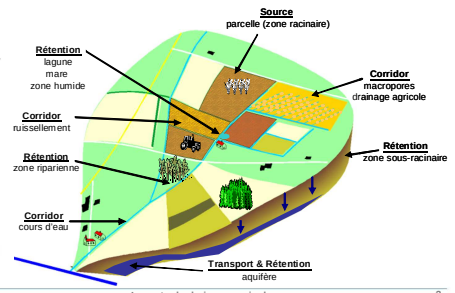
AREAS, 27 novembre 2008

Plan de l'exposé

- **Problématique des eaux agricoles :**
  - Identification des sources
  - Gestion de risque
  - Solutions en cours d'évaluation
- **Exemples de 2 projets menés au Cemagref**
  - Projet Européen Life Artwet
  - TRUSTEA pour le drainage agricole

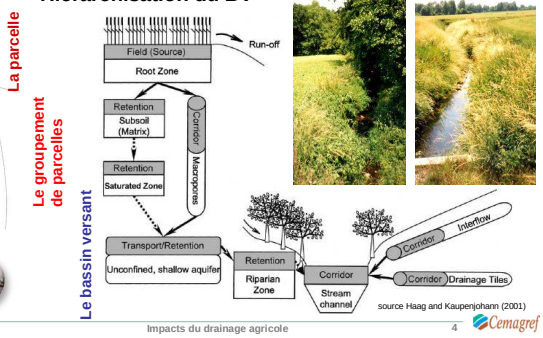
Le contexte de recherche

- **De l'échelle de la parcelle au bassin versant : compréhension des interactions cours d'eau / interface (zone tampon, ripisylve, …)**



Processus dans les bassins amont

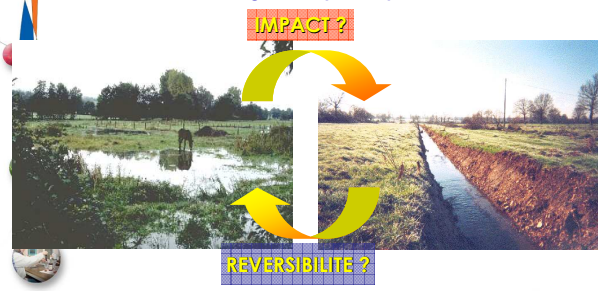
- **Typologie**
- **Hiérarchisation du BV**



source Haag and Kaupenjohann (2001)

Solutions correctrices

→ Impacts des pratiques d'aménagement hydro-agricoles
→ Vers des critères de gestion hydraulique ?



Contexte

- **1 Pollution ponctuelle : Sécurisation des installations**
- **2 Pression polluante : Adaptation des stratégies de traitement**
- **3 Zone Tampon et Ouvrage compensateur : Epurer l'eau agricole à l'intérieur des petits bassins versants ruraux.**

LIMITER LES TRANSFERTS DE LA PARCELLE AU MILIEU RECEPTEUR

PIRRP 2006
Grenelle 2007
⇩
Réduction apport

Aléas : Présence de pesticides dans les eaux de drainage

Vulnérabilité : Utilisation de la ressource pour produire de l'eau potable

RISQUE de contamination de la ressource et consommation par la population humaine

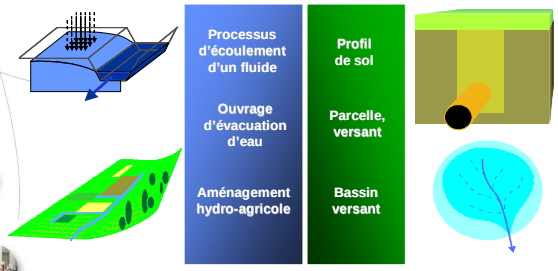
Actions pour ↘ risque

Contexte

- **DCE : actions pour 2009 pour atteindre le bon état écologique des cours d'eau**
- **Quel type d'action, pour quelle efficacité ?**

Parcelle agricole (viticulture, grande culture)
⇩
concept de zone tampon : interface entre la source de contaminant et le milieu naturel hydrographique
⇩
Eaux superficielles

Hydrologie des bassins agricoles : échelles et processus



Les zones tampons

- Des solutions naturelles
  - Zones enherbées ou banquette de diffusion
    (10-20 m pour qq ha)
  - Zones boisées (haute teneur en matière organique, sensibilité réduite à l'engorgement)
    (5000m² pour 60-100 ha)
  - Zones humides naturelles
    (5000m² pour 60-100ha)
- Des solutions aménagées
  - Restauration de zones humides
    (5000m² pour 60-100ha ou plus)
  - Artificialisation de zone épuratoire (constructed wetland)
    (5000m² pour 60-100ha ou plus)

Quel genre de zone tampon ?

A. Stream widening pond

Suède :
Les 3 types de zones humides artificielles

B. Side pond

C. Pond in a piped system

WETPOL 2007

Quelle stratégie adoptée ?

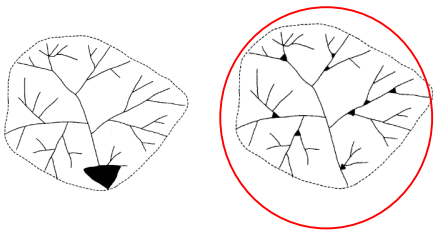
- **Le message que nous voulons faire passer**
  Agriculture / Aménagement / Biodiversité

Actions	Objectif Qualité de l'eau (critère Nitrate)	Aménagement du paysage	Biodiversité
Scénario 1 : **Statu quo** on ne change rien	>50mg/l	Tout homogène	Faible
Scénario 2 : **Réduction** On conserve une agri intensive mais réduction apport, action de type Fertimieux	Environ 50mg/l	Tout homogène	Faible
Scénario 3 : + **Zone tampon** bande enherbée, zone riparienne, zone humide artificielle (ratio 1%)	<50mg/l	Création d'hétérogénéité,	Diversité
Scénario 4 : **+ Ecologique** création de zone humide (ratio 5%)	excellente	Paysage complexe et très hétérogène	Forte diversité

WETPOL 2007

Réflexions sur les ouvrages compensateurs

- **Implantation au plus proche de l'émission de polluant (moins de dilution due aux différences de pratiques agricoles)**



(Mitsch, 1992) ; (van der Valk and Jolly, 1992)

Aménagement de l'espace rural pour la qualité de l'eau

Le but n'est pas nécessairement
de chercher
une compensation stricte d'activités
ou une protection idéale,
mais plutôt de mettre en place
des mesures complémentaires ou globales
permettant d'atteindre des objectifs
initialement fixés

Ouvrages compensateurs de la qualité des eaux

Aspect scientifique

- **Traiter les eaux de surface (drainage, ruissellement) le plus en amont possible : aménager le bassin versant**
- **Identifier et favoriser les** processus **permettant à un écosystème aquatique équilibré de** transformer **ou d'**éliminer **les substances qui lui sont apportées (pollution). La dilution n'est pas une solution durable.**

Auto épuration <u>vraie</u>
élimination de la pollution

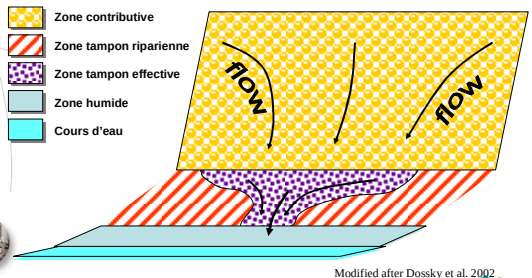
≠

Auto épuration <u>apparente</u>
transformation, transfert dans l'espace ou dans le temps de la pollution

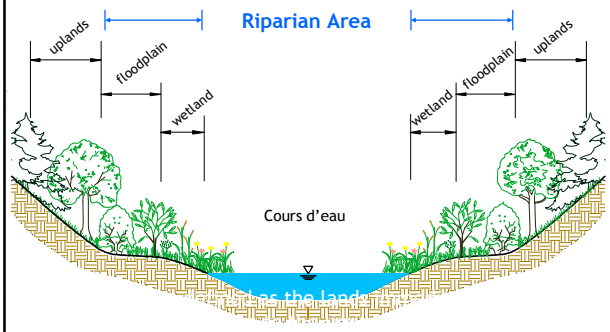
La connaissance de l'hydrologie et chemin de l'eau
est
un préambule à toute étude
Par exemple : suivre le diagnostic CORPEN

Les chemins de l'eau

Les chemins de l'eau assurent
- une interception et
- une efficacité des zones tampons



Modified after Dossky et al. 2002



Revue bibliographique

- **Des expérimentations internationales publiées dans la littérature scientifique**
- **Définir**
  - ce que l'on sait
  - et surtout ce que l'on ne sait pas

Revue bibliographique

Fossé végétalisé

- **Les fossés sont déjà présents, les valoriser est une possibilité (15 réf.)**

Fig. 2. (a) Representative vegetation in Class 1 ditch structure. (b) Absence of buffer strip in Class 2 ditch structure. (c) Class 3 ditch structure with diverse vegetation. (d) Deciduous forest and vegetated buffer strip aligning Class 4 ditch structure.

Revue bibliographique

Fossé végétalisé

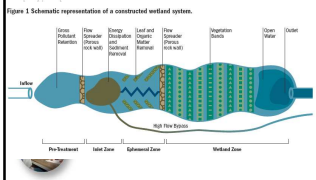
- **L'efficacité dépend principalement de**
  - la vitesse de l'eau (<0.3 m/s, si >1m/s efficacité=0)
  - la géométrie : longueur (de 30 à 600 m)
  - la végétation (densité de tiges)
  - des propriétés des pesticides
- **Les voies de recherche**
  - Influence de la vitesse sur la rétention des pesticides
    - facteur géométrique : diminuer la vitesse = élargir le fossé
  - Influence de la végétation

Revue bibliographique

Les zones tampons humides artificielles

- **Les bassins d'orage**
  - modifier les bassins existant pour gérer les pollutions diffuses
  - s'inspirer des bassins d'autoroute (polluant pétrolier)

Figure 1. Schematic representation of a constructed wetland system.



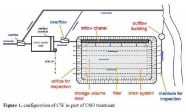
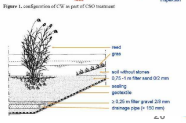


Figure 1. configuration of CW as part of CSO treatment



Revue bibliographique

Les zones tampons humides artificielles

A. Stream widening pond

zone humide en série

Suède :
Les 3 types de zones humides artificielles

B. Side pond

zone humide
en parallèle

C. Pond in a piped system

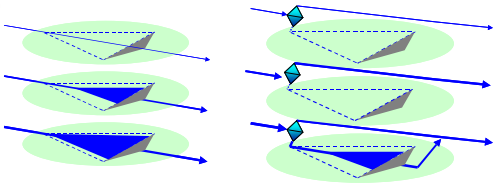
zone humide intégré
au réseau de drainage

WETPOL 2007

Solutions correctrices

Type d'ouvrages

- **Au fil de l'eau**
  - Fossé végétalisé
  - Retenue en travers
- **En parallèle**
  - Retenue en parallèle

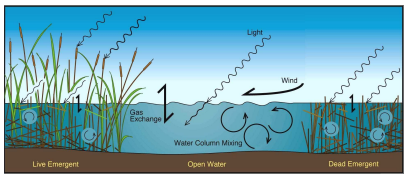


Solutions correctrices

- **Efficacité de l'abattement phytosanitaire**
  - Réaction chimique
  - Dégradation microbienne
  - Adsorption
- **Augmenter le temps de séjour et la MO disponible**

La littérature montre jusqu'à 90% d'abattement

faible tirant d'eau



Végétation de type macrophyte

Solutions correctrices

- **Les macrophytes : choix des espèces locales**
  - Objectif : favoriser les échanges avec la rhisosphère (effet indirect)

massettes (*Typha* sp.)

scirpes (*Scirpus* sp.)

phalaris (*Phalaris* sp.)

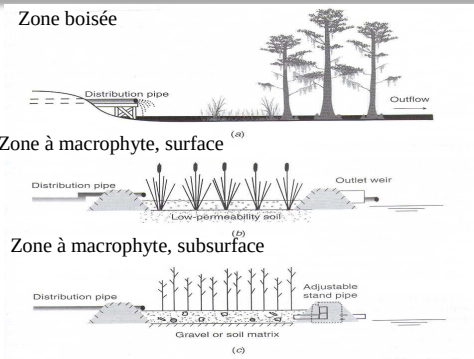
phragmites (*Phragmites* sp.)

glycéries (*Glyceria* sp)

joncs (*Juncus* sp.)

Solutions correctrices

Zone boisée



Zone à macrophyte, surface

Zone à macrophyte, subsurface

Figure 10.2 Three types of wetland treatment systems: (*a*) natural wetland; (*b*) surface-flow wetland; (*c*) subsurface flow wetland (Based on Kadlec and Knight, 1996; from Mitsch and Gosselink, 2000; copyright 2000; reprinted with permission from John Wiley & Sons, Inc.)

Revue bibliographique

Les zones tampons humides artificielles

- **Atrazine, Metolachlor, Glyphosate, Chlorpyrifos, Isoproturon, Alachlore**

Ex. Metolachlor (Koc : 108 cm3/g, DT50 : 29 jours)
temps de séjour hydraulique >13 jours en été
pour 90% d'abattement

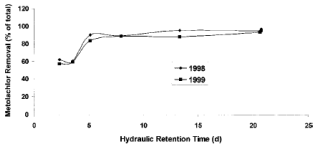


Fig. 5. Metolachlor removal in constructed wetland cells with plants.

Schultz, et al, 2003, ADS

Revue bibliographique

Les zones tampons humides artificielles

- **sur 144 références : 73 concernent les nitrates et le phosphores, 58 les eaux usées, 15 effluent agricole, 13 sur les métaux**
  - 15 références concernent les pesticides

efficacité variant de 15 à 90%
efficacité médiane 40%

dépend des propriétés des pesticides
-vitesse de dégradation
-capacité à s'adsorber

Les questions en suspend

- **Les interfaces (zones tampons, fossés végétalisés, …) sont efficaces pour limiter le transfert des contaminants agricoles dans les bassins versants.**
- **La quantification à l'heure actuelle n'est pas possible.**
- **La compréhension des processus aboutira à l'optimisation de la dissipation et donc à l'évaluation de la performance.**

Traitement RUSTique des Eaux Agricoles
TRUSTEA II
AO MAITRISES 2007

Séminaire de restitution 2008

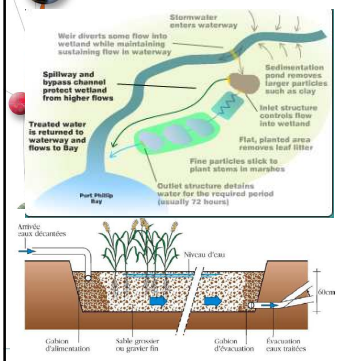
Equipes : PHYLEAU Antony / Lyon EPURE Lyon
G-EAU Montpellier

Le projet TRUSTEA

- **Partie I : Aspects techniques**
  - Traçage
  - Modélisation
- **Partie II : Approches sociologiques pour une ingénierie intégrée des zones tampons humides construites (ZTHC)**
  - Consortium : définition de la question Agriculture et qualité des eaux
  - l'AO Eau et Territoire
- **Partie III : Mise au point d'une méthodologie**
  - Poursuite de la réflexion du CORPEN appliquée au ZHA
- **Partie IV : Veille Scientifique et Technique**
  - Bibliographie
  - Colloques, communication
- **Conclusions et Propositions 2008**

Le groupe TRUSTEA : Traitement Rustique des Eaux Agricoles

Les zones tampons dont les zones humides artificielles



- ouvrage de dérivation (seuil et tube PVC)
- lagune à macrophyte tampon hydraulique, (décantation MES, tampon hydraulique)
- ouvrage de by Pass (fort débit)
- lit à écoulement horizontal, alimenté par un débit constant et fixé en fonction du temps de résidence voulu (par un choix selon les molécules appliquées : croisement mobilité et DT50).

Les projets Protection de la Ressource en eau

- **Recherche :**
  - Projet Européen Life Artwet
  - PIREN-Seine (animation thème Zone Humide)
- **Appui technique & Expertise**
  - DDAF (DDEA) et Chambres d'Agriculture
- **Mixte en partenariat**
  - Projet Aqui'Brie : protection de la nappe de Champigny en zone d'engouffrement
  - Projet Eau de Paris : idem
  - Projet SCIARCE
- **Communication**
  - participation au CORPEN

Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

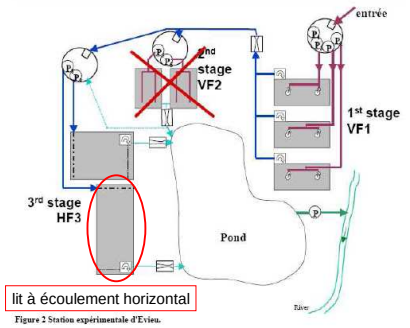


Figure 2 Station expérimentale d'Evieu.

Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

- **Caractéristique du filtre :**
- L=17m ; l=3,9m ; prof=0,6m ; végétation : Phragmites Australis
- **Protocole**
  - Condition hydraulique :
    - Pomper à débit constant de 3,1l/s l'eau de la lagune
    - Contrôle aval en sortie filtre
  - Traçage :
    - Apport sur 2h d'une solution de traçage composée de bromure, isoproturon, diuron, azoxystrobine, tébuconazole

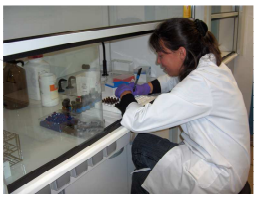
	Bromure	DIU	IPU	TBZ	AZS
Concentration d'injection (en µg/l, * mg/l)	300.37*	82.6	104.34	59.56	66.83
Koc		428	120	1027	423
DT50		29	17	107	12

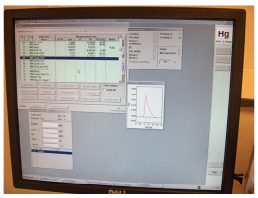
Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

- **Analyse des échantillons**
  - Bromure : Antony (70)
  - Pesticide : Lyon (96*4)
- **Déroulement du traçage**
  - Mise en place le 14 mai, début manip 21mai, fin manip 8 juin 2007
  - Excellente coordination entre les équipes (matériel, suivi, analyse)
  - Précipitations sur la durée exceptionnellement élevées : 219mm

Le traçage expérimental à Evieu (01) :

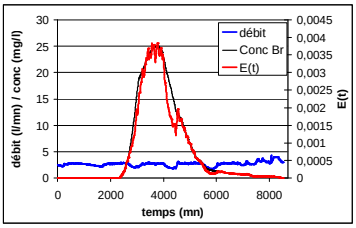
Les analyses de laboratoire à Lyon (69) :





Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

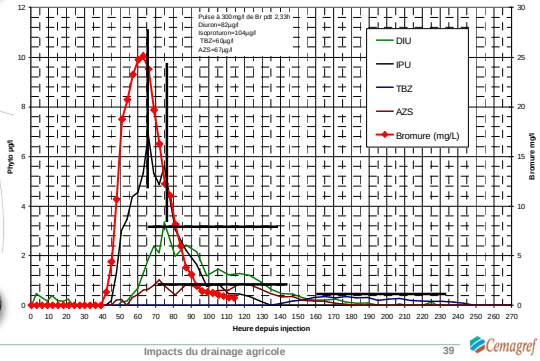
- **Résultats : Bromure et temps de séjour de l'eau**



$$t_s = \int_0^{\infty} tE(t)dt \Longrightarrow$$ T=66h
volume mort 25%

Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

- **Résultat : Pesticides**



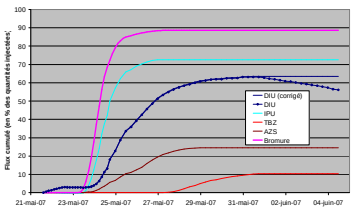
Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

- **Résultat : Evolution des flux**

Abattement concentration :
mélange/dispersion

Réduction flux :
rétention (dégradation/adsorption)

	Flux	% conc Max
Br	*89%*	*8.4%*
IPU	73%	6.7%
DIU	63%	4.1%
AZS	24%	1.5%
TBZ	10%	0.5%

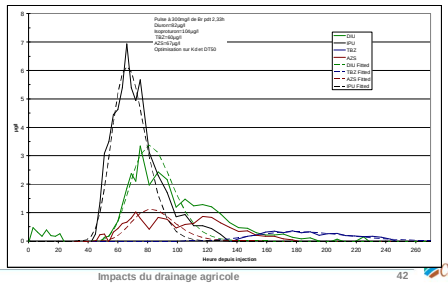


Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

- **Interprétation :**
- **Abattement des pics de concentration : effet positif**
- **Réduction des flux : dépend des propriétés des molécules (intérêt du choix des molécules)**
  - IPU : considérée comme mobile (adsoprtion faible, demi-vie 17j)
  - DIU : (modéré, avec demi-vie 29j)
  - AZS : (modéré, avec demi-vie 17j)
  - TBZ : (forte, demi-vie 107j)
- **Question en suspend :**
  - rétention = dégradation, adsorption, fixation, relargage ?

Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

- **Modélisation avec HYDRUS 2D**
  - étape 1 : calage hydraulique avec débit moyen et Bromure
  - étape 2 : calage propriétés pesticides



Partie I Technique : Test d'une ZH très artificialisée

- **Interprétation :**
  - Adsorption déterminée au laboratoire, et dans les bases de données (Agritox, …) : identique
  - Dégradation (demi-vie) : dans les bases de données (au champs) >> dans le bassin (de 3 à 10 fois plus rapide)

Labo	DIU	IPU	TBZ	AZS
Adsorption Koc (g/cm3)	428	120	1027	423
DT50 (j) au champs	29	17	107	12

Calage	DIU	IPU	TBZ	AZS
Adsorption Koc (g/cm3)	441.5	127.1	2791.3	510.8
DT50 (j)	3.5	5.0	0.9	1.2

- **Conséquence opérationnelle :**
  - On peut envisager pour le dimensionnement un temps de résidence hydraulique plus faible (qq jours à la place de qq semaines)
- **Hypothèses à valider !!!!!**

Partie II : SHS

Approches sociologiques pour une ingénierie intégrée des zones tampons humides artificielles

- **Partenariat :**
  - UMR prodig (CNRS, Jussieu, Sorbonne) : Agate Euzen, Jean Paul Hagh
  - l'Unité Mixte de Recherche 7117 Laboratoire de Philosophie et d'Histoire des Sciences – Archives Poincaré (CNRS- Nancy II)
- **Définition de la question**
  - un projet interdisciplinaire en impliquant les SHS dans le domaine du choix, de la localisation, du dimensionnement de la gestion et de l'entretien des ZTHA, avec notamment la prise en compte des points de vue des différents acteurs tels que rencontrés dans les cas concrets traités
  - Avec pour toile de fond l'élaboration d'un ingénierie adaptative (participative) pour élaborer des solutions techniques co-construites
- **Organisation**
  - Action centrée sur un site (Rampillon) avec regards sur d'autres sites satellites avec un intervenant principal (CG)
  - Réunions, séminaires de co-ordination, stages
- **Réflexion sur des axes de travail : AO Eau et territoire, non soumis**

La contribution des sciences sociales :

- Comprendre les pratiques agricoles sur un territoire donné et les contraintes qui s'y rapportent;
- Etudier les perceptions des pollutions agricoles des acteurs directement concernés et des usagers de l'eau;
- Analyser les processus conduisant à l'élaboration d'un dispositif sociotechnique d'épuration performant.

Comment procéder ?

- En retraçant l'histoire des controverses autour de l'usage des pesticides;
- En suivant les expérimentations autour des ZTHA dans leurs aspects techniques et sociaux;
- En menant des enquêtes auprès des agriculteurs, des gestionnaires des ressources aquifères, des riverains et usagers de l'eau.

Le travail amorcé sur un site réel :

- Suivi des réunions de présentation et de discussion du projet dans ses différentes phases;
- Rencontres avec les agriculteurs susceptibles d'accepter de consacrer une partie de leurs terres aux zones humides construites;
- Observation des expérimentations préparatoires à la station d'Evieu et au Cemagref de Lyon;
- Observation des opérations de carottage du sol et de mesures des sites à Rampillon.

→ *Il importe de pouvoir observer les interactions entre les acteurs en situation.*

Etudes géologiques et mesures à Rampillon :

Deux sites où sera construite une ZTHA :

Premières observations :

- **Il faut décider et agir malgré les incertitudes car les ressources aquifères se dégradent et la législation se fait plus contraignante;**
- **La solution proposée ne sera pas simplement technique mais sociotechnique c'est-à-dire co-construite avec l'ensemble des acteurs;**
- **L'efficacité du dispositif dépend de l'engagement des agriculteurs qui cèdent leurs terres et gèrent le dispositif d'épuration;**
- **La participation des agriculteurs est liée à la reconnaissance de leurs savoirs et de leur rôle;**
- **Les négociations se passent à la marge du processus et sont menées par le conseiller agricole présent en continu sur le terrain;**
- **L'appropriation du dispositifs par les acteurs est collective (/ mesures agro-environnementales sont individualisantes);**
- **La pérennité des ZHC dépendra aussi des réactions du public.**

Partie III : Mise au point d'une méthodologie

- **Adaptation de la démarche CORPEN au cas des zones tampons (incluant les ZHA)**
  - Diagnostic circulation de l'eau :
    - Distinction écoulement vertical et de surface
    - Evaluer les court-circuits hydrauliques et concentration des écoulements
    - Détermination des zones hydromorphes, ou d'accumulation des eaux de ruissellement
  - **Mise en valeur des zones existantes**
    - **Dispersion des écoulements concentrés (ZT "classiques")**
  - **Mise en place de nouvelles zones tampons :**
    - **Bandes enherbées, haies**
    - **En terrains hydromorphes : intérêt des ZHA**
- ***Bonne complémentarité entre ZT classiques et ZHA***

Partie III : Mise au point d'une méthodologie

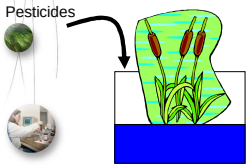
- **Dans le cas du drainage, sur le site réel**
  - Aspect technique :
    - étude des réseaux de drainage
    - étude géotechnique
  - Aspect réglementaire :
    - Dossier de Déclaration
  - Aspect SHS :
    - adapter la solution technique aux contraintes des agriculteurs
  - Aspect financier :
    - PDRH, CG
- **Passage à l'action : Construction prévue pour 2008 !!!!**

Conclusions et propositions 2008

- Techniques : des résultats importants pour la compréhension mais soulèvent de nouvelles interrogations sur le devenir des pesticides dans les ZHA : dégradation / adsorption / relargage ?
- SHS : analyse d'un processus socio-technique, qui nécessite une étude pas à pas pour cerner les facteurs favorisants et limitants
- Méthodologique : un début de réflexion qui s'enrichira des expériences de terrain
- TRUSTEA est un groupe, de travail dont le soutien est grandement apprécié.

Mécanismes de rétention/dissipation

- Test en milieu contrôlé sur mésocosme de la rétention : distinction dégradation / adsorption / et prélèvement par les macrophytes, à partir de substrats prélevés sur site.
- Poursuite des travaux de modélisation intégrant les aspects "rétention"



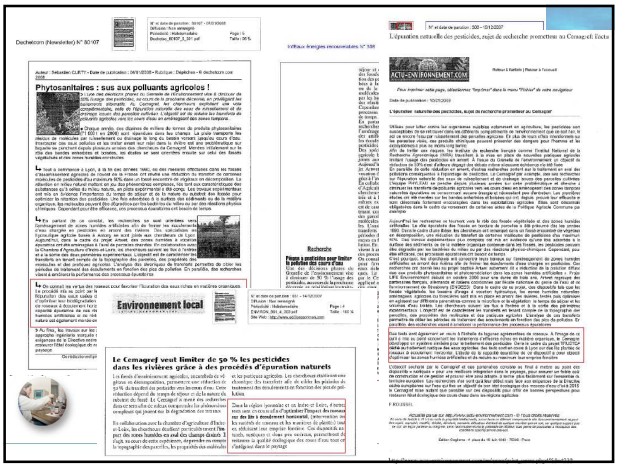
Partie SHS, qui devra être fait :

- Prolonger le travail interdisciplinaire qui a été entrepris;
- Développer en amont la réflexion sur les controverses autour des pesticides depuis le début de leur utilisation pour éclairer le présent (ex. DDT).
- Amorcer la comparaison avec d'autres expérimentation de remédiation comme à Loches ou sur les bandes enherbées;
- Mener éventuellement des enquêtes qualitatives auprès du public au-delà du site d'expérimentation.

→ *CR sociologie C. Gramaglia + stagiaire double cursus C. Feger (3 mois).*

Ingénierie et aide à la décision

- Refléxion autour des étapes dans la stratégie d'aménagement de type Zone Tampon Humide Artificielle
  - Aspect technique
  - Aspect réglementaire
  - Aspect financier
- Etude de simplification des mécanismes pour la production d'une équation de dimensionnement (relation pic/temps de résidence/propriétés des molécules)



Dachstcom (Newsletter) N° 80 107

Phytosanitaires : sus aux polluants agricoles !

Environnement local

Le Cemagref veut limiter de 50 % les pesticides dans les rivières grâce à des procédés d'épuration naturels

L'épuration extra-ville des pesticides, objet de recherche promotionné au Cemagref: Ecots