

# Les expériences allochtones de compensation des atteintes aux zones humides

Geneviève BARNAUD, Bastien COIC & Guillaume GAYET  
MNHN-SPN [barnaud@mnhn.fr]



- Préalable sémantique
- Compensation pourquoi et de quoi ?
- Modes d'intervention et types de mesures de compensation
- Mises en garde et perspectives

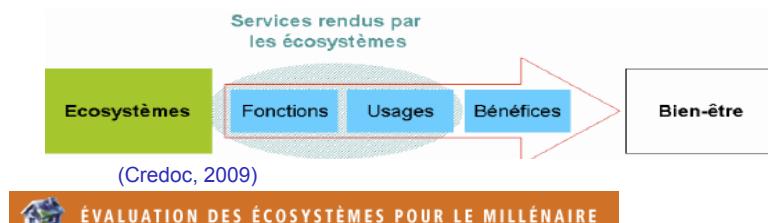


*La compensation des zones humides détruites ou impactées par un aménagement : Discussion à propos de l'exemple de Notre-Dame-des-Landes*  
Séance 18-12-2013



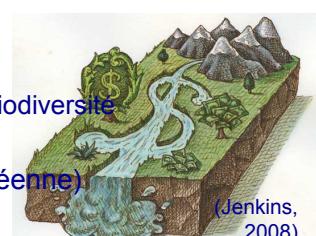
## Préalable sémantique : fonctions, services...

2009 : la terminologie adoptée en France pour le MEA  
**Du bon état des écosystèmes au « bien-être de l'humanité »**



### ➔ Se mettre d'accord sur la terminologie

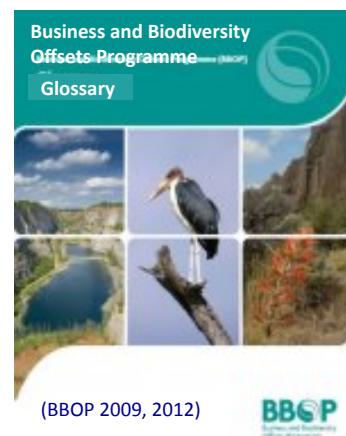
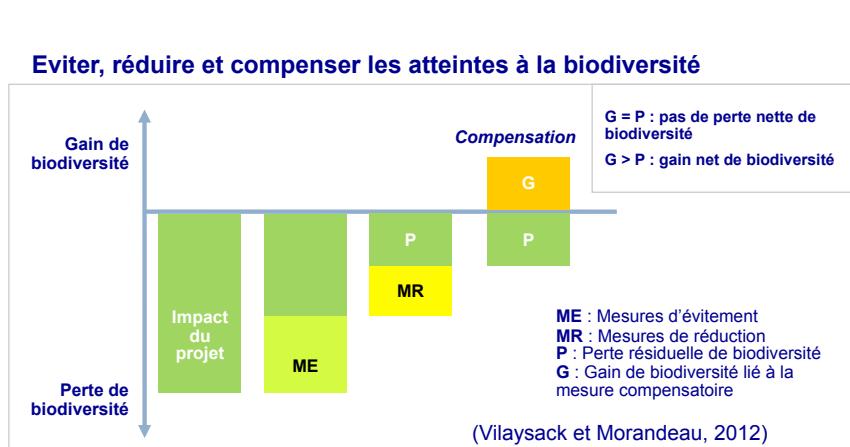
- **Fonction écologique** : résultat du fonctionnement de l'écosystème (processus, mécanismes)
  - **Fonctionnalité** : pour certains, ensemble des fonctions d'un écosystème, pour d'autres conditions permettant le fonctionnement d'un système écologique
  - **Valeur** : qualité attribuée par une ou des personnes à une caractéristique de l'écosystème (intérêt d'usage, culturel), parfois affectée d'un montant financier
  - **Services écosystémiques** : avantage retiré par un individu ou une société d'une fonction attribuée à un écosystème
  - **Équivalence écologique, 2 approches** (Quétier et al., 2011) :
    - substituabilité d'espèces/dynamiques des communautés → patrons de biodiversité
    - identité entre action compensatoire et impact résiduel à compenser
- Variation des interprétations/réglementations (nationale, européenne)



## Préalable sémantique : mitigation, compensation...

### → Les notions clés du domaine de la compensation écologique

- **Mitigation** (atténuation): ensemble du processus de gestion des impacts environnementaux fondé sur le triptyque **Eviter > Réduire > Compenser**
  - **Compensation écologique**: le dédommagement aussi bien monétaire que par la réalisation de mesures sur le terrain
- Définition du BBOP (2009) : La **compensation d'atteinte à la biodiversité** implique la réalisation de mesures pour restaurer, créer, améliorer ou empêcher la perte ou la dégradation d'un type d'écosystèmes, afin de **compenser les impacts résiduels sur l'écosystème et/ou sur ses espèces associées**.



## Compensation écologiques, pourquoi et de quoi?

### Prise en compte des pertes :

#### → d'espèces et/ou d'habitats

- Aux Etats-Unis (*Endangered Species Credits*) 1973
  - Système de plafonnement et d'échanges / biodiversité
- En France, loi de 1976 sur la protection de la nature
- Europe, Directives 1979 Oiseaux & 1992 Habitats : étude d'incidence Natura 2000



### Fonctions typiques des zones humides

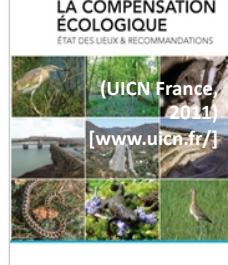


(Thompson et Luthin, 2004)

- Habitats flore-faune
- Nurserie de poissons
- Filtration, épuration de l'eau
- Réduction des inondations
- Stabilisation des berges

#### → de superficies, de milieux

- Aux Etats-Unis, zones humides depuis 1970
- Europe, Directives « Oiseaux » & « Habitats »

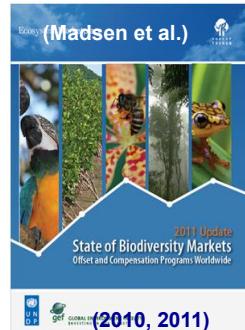


#### → fonctions écologiques

- Aux Etats-Unis, milieux aquatiques depuis 1988
- France, Sdage (2010-2015), Police de l'eau

#### → valeur

#### → services écosystémiques



# Une approche d'envergure mondiale

Conventions internationales (Ramsar, diversité biologique...)

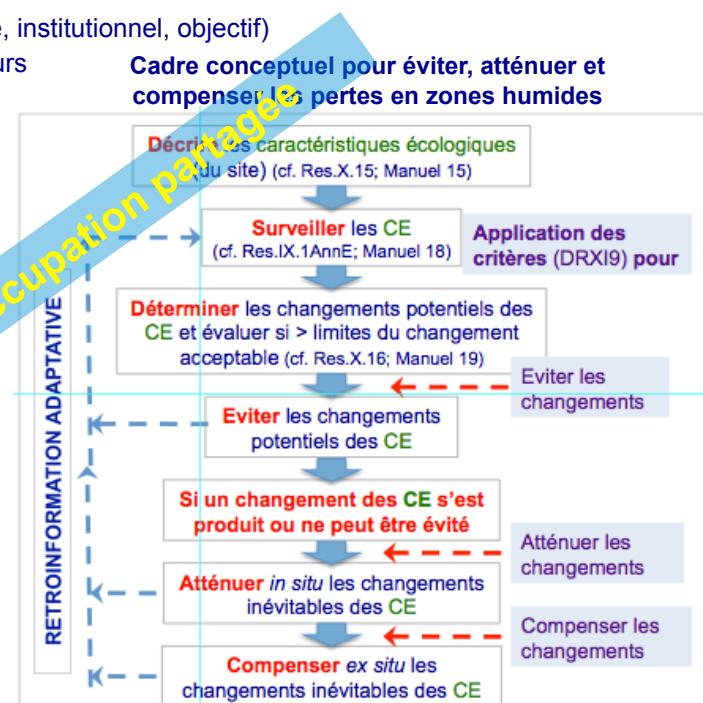
## → Les orientations de la Convention de Ramsar

- Approches focalisées sur l'évaluation des **services écosystémiques** et l'implication des **acteurs** (De Groot et al., 2007), 5 étapes :

- (1) Analyse du contexte général (politique, institutionnel, objectif)
- (2) Identification hiérarchisation des acteurs
- (3) Analyse fonctionnelle (identification, **quantification des biens et services**)
- (4) **Estimation quantitative** des services
- (5) Diffusion de l'information

→ 2012 - Résolution XI.9 COP11 Ramsar  
Cadre intégré et lignes directrices pour éviter, atténuer et compenser les pertes en zones humides

Rapport technique Ramsar 3,  
Série des publications techniques de la CDB n°27



## Orientations, réglementations européennes et françaises



→ En France, un début d'encadrement politique administratif-technique

- Doctrine relative à la séquence ERI : éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel (Meddtl, 2012, CGDD, 2013)

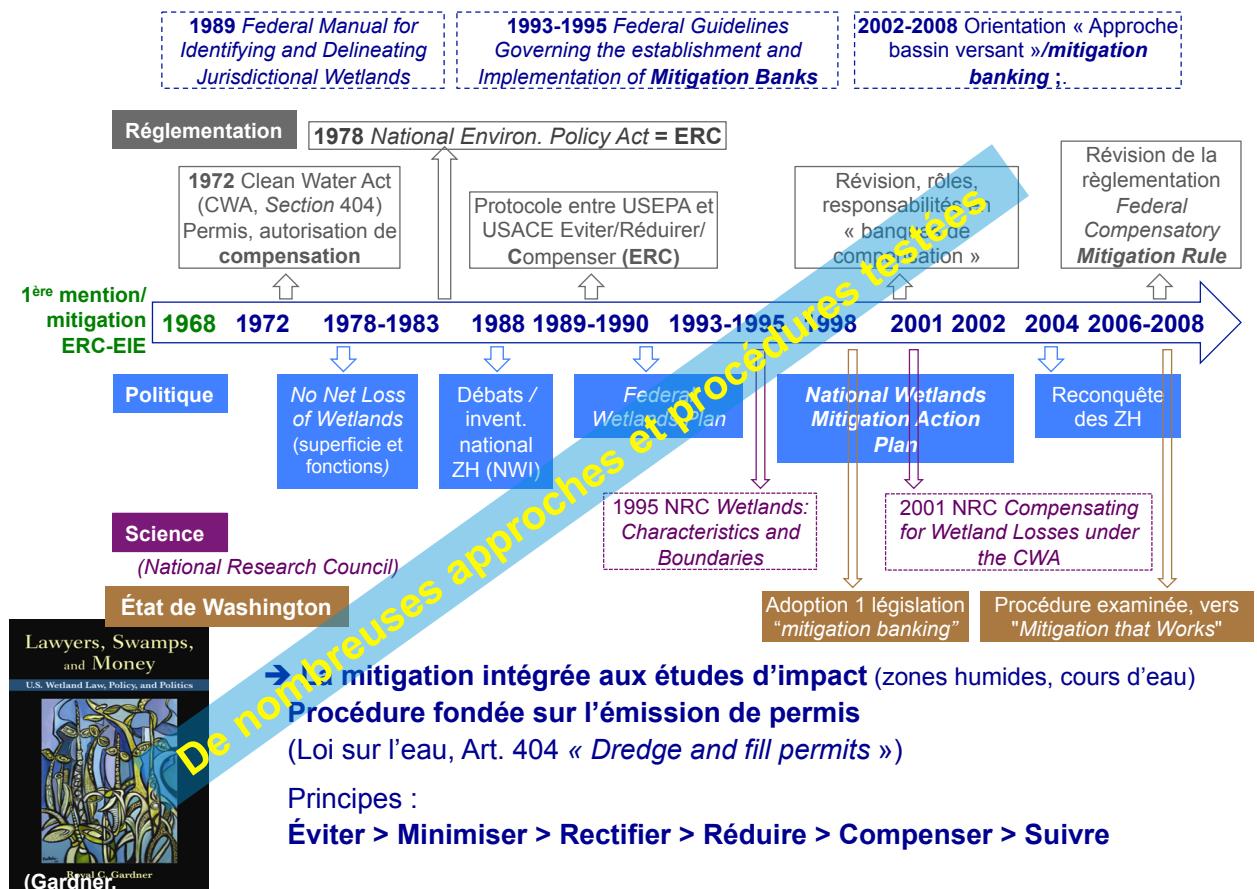
**« Tout n'est pas compensable »**

**Pas de critères monétaires**

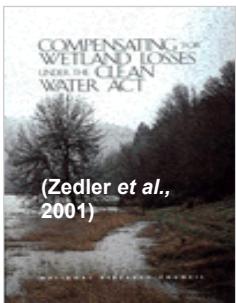


- et la norme AFNOR « Génie écologique » (NF X10-900)

# Aux USA, 40 ans d'expérience en compensation



## Compensation ZH, pléthore de mécanismes aux USA



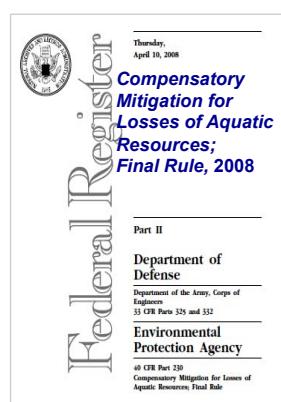
### Compensatory mitigation :

“restauration, création, amélioration, et exceptionnellement préservation d’autres ZH, comme compensation d’impacts à des zones humides naturelles” (NRC 2001)

➔ Cadrage fédéral, déclinaisons par Etat

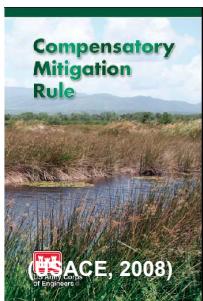
### ➔ 3 mécanismes pour obtenir un permis

- Compensation directe par le maître d’ouvrage
- Rémunération de remplacement (*In lieu fee mitigation- ILF*)
- Banque de compensation (*Mitigation banking*)



### ➔ 4 méthodes d'interventions retenues

- Restauration
- Amélioration
- Création
- Préservation



## Mécanismes de « compensation, mitigation » (suite)

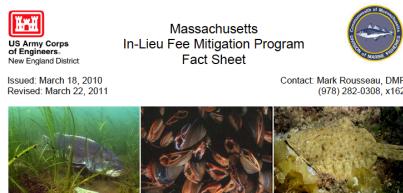
### → Permis individuel (*Permittee responsible compensation*) [PRC]

- **Définition:** proposition par le maître d'ouvrage d'une (des) mesure(s) de compensation, réalisée(s) par lui-même ou déléguée(s) à un prestataire extérieur
- **Avantages:** Implication directe du maître d'ouvrage
  - Objectifs plus adaptés et cohérents/ZH impactée
  - Travaux simultanés d'aménagement et de restauration
- **Inconvénients :** Nécessité de compétence en restauration  
→ Faire appel à une entreprise spécialisée

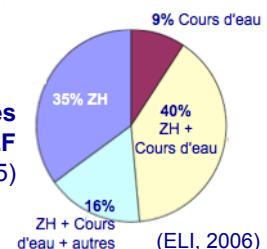


### → Rémunération de remplacement (*In lieu fee mitigation*) [ILF]

- **Définition:** versement par le maître d'ouvrage d'un budget à un organisme (public, ONG) pour compenser les impacts (**actions « favorables »** aux zones humides)
  - Révision 2008, création de *ILF Program* (approche Bassin versant)
  - **Volonté d'équivalence des critères d'anticipation**
- **Inconvénients :** mise en commun de plusieurs mesures
  - Compensation « réelle » recherchée
    - = Perte nette (fonction, surface) entre temps  $t$  destruction et  $t+1$  restauration
  - **Faible traçabilité des fonds** (centralisation de fonds de plusieurs projets)



Type de milieux concernés par 43 programmes ILF approuvés (10-05)



## Mécanismes de « compensation, mitigation » (suite)

### → Banque de mitigation (*Mitigation bank*) [MB]

1 site ou un ensemble de sites appartenant à 1 entité privée certifiée par les agences environnementales

- **Mission du promoteur de la banque**
  - **Acquisition** de terrains, création, restauration, conservation (exceptionnel)
  - **Vente de « crédits de compensation »** aux maîtres d'ouvrages calcul (ratio) / x détruit (surface, type de ZH, fonctions écologiques)
  - **Gestion** des zones humides restaurées et « vendues »
- **Avantages**
  - Gain en temps entre  $t$  perte de fonctions et  $t+1$  récupération
  - Intervention sur des **superficies importantes**  
→ Garantie / obtention de **plusieurs fonctions**
  - Moins coûteux, meilleure viabilité économique



#### • Inconvénients

- Incitation à une politique du « tout mitigati », calibrage offre/demande
- Risque de pertes en cas d'échec de la restauration (surface, fonctions)
- Incertitude / pérennité (déficit de la banque de mitigation)
- Evaluation des fonctions moins poussée

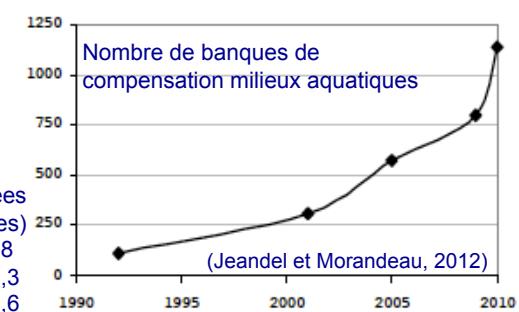
### → Une mécanique mature

Montant total/an des compensations (période 2005-2009)

Zones humides : 1,4 - 2,5 milliards \$

cours d'eaux : 430 - 683 millions \$  
(Madsen et al., 2011)

Superficies compensées (ha milieux aquatiques)  
2008 : 9 784,8  
2009 : 31 024,3  
2010 : 13 552,6



## Des options privilégiées pour l'obtention d'un permis

→ Des distinctions entre les options de compensation de zones humides (d'après WSDE 2012)

Type	Responsable	Calendrier des mesures	Permission de vente
PRC	Titulaire du permis	Dans l'année de l'impact	Non
ILF-P	Entité gouv., ONG	3 années rémunération	Oui
MB	Entité privée	Avant impact	Oui



## Pertinence des méthodes de compensation ?

### → Restauration (rétablissement, réhabilitation)

Manipulation de caractéristique (physique, chimique, biologique) d'un site pour retrouver les fonctions naturelles – historiques d'une ressource aquatique dégradée

Résultats : Gain net dans une ZH altérée

Option :

- Intéressante, lieu *a priori* prédisposé à accueillir ce type de milieu
- En principe, ratio surfacique de 1 : 1
- taux de réussite plus élevé que celui de la création
- Site à proximité d'un réseau hydrographique ou partiellement connecté



### → Création

Manipulation de caractéristique (physique, chimique, biologique) existantes d'un site pour développer une ressource aquatique - zone humide dans un site non aquatique-humide

Résultats : Gain en superficie et en fonctions sur une zone terrestre

Option :

- Construction *ex nihilo* d'une zone humide
- Au cœur des négociations, les ratios à appliquer
- En principe, ratio surfacique > 1 : 1
- Prise en compte du : taux d'échec, du délai de récupération des fonctions

→ Séduisante, mais à risque



# Pertinence des méthodes de compensation ?

## → Amélioration

Manipulation des caractéristiques d'un site pour renforcer, intensifier une (des) fonction(s) spécifique(s) présentes détériorées

Résultats : pas de gain en superficie

gain en fonction(s) sélectionnée(s)

parfois au détriment d'autres fonctions

Option :

- Ratio surfacique plus élevé en l'absence d'un gain de surface
- Examen de la possibilité de compenser toutes les fonctions perdues

→ Rarement retenue seule, en combinaison avec la création ou restauration

## → Préservation:

Suppression d'une menace par une action de préservation des ressources aquatiques localisées à proximité

Résultats : Pas de gain, contrôle de perte en superficie ou en fonction,

Option :

- Maintien en l'état des fonctions d'un système risquant une dégradation

→ Peu recommandée (problème de délais, de partenariat)

→ Privilégier la restauration dans la mesure du possible



## Une incitation à la restauration

### → Pour le permis, 4 catégories d'intervention retenues

#### • Restauration, 2 sortes :

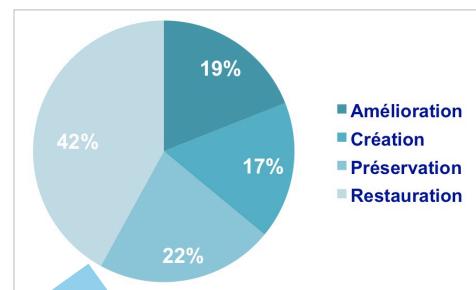
- Rétablissement : gain en fonctions et en superficie
- Réhabilitation : gain en fonctions mais pas en superficie

#### • Amélioration

#### • Création

#### • Préservation

Etats-Unis : Répartition des méthodes de création de crédits pour des permis individuels de mitigation  
(Source: USACE FOIA 2008)



→ Création d'entreprises ad hoc privées et publiques



EcoLogical Mitigation

Click below for services..

→ Formation, professionnalisation, certification



## Où réaliser la compensation ?

### → In-situ

- **Intérêt** : récupérer des **fonctions spécifiques d'une écorégion**
- **Désavantage** : production d'une mosaïque de petites ZH,  
± connectées au réseau hydrographique

### → Ex-situ

- **Intérêts** : Obtention de fonctions spécifiques aux grandes ZH (habitat faune...)
- Meilleure proportionnalité de la compensation,  
/ fonctions plus « mobiles-labiles » (habitat oiseaux d'eau...)  
que d'autres (zone de rétention des crues)
- Bénéfice environnemental estimé *a priori* élevé, plus facile à gérer
- Recherche de la proximité d'autres marais, intégration à un réseau
- Désavantage** : délocalisation des résultats escomptés

### → Quid des services écosystémiques

- Proximité spatiale, récupération de fonctions et services perdus
- Eloignement, des bénéficiaires de nouveaux services  
au détriment d'autres

### → La localisation de la compensation

- Cohérence biogéographique, hydroécorégion, secteurs d'échanges potentiels
- **Le même bassin versant (2008)**

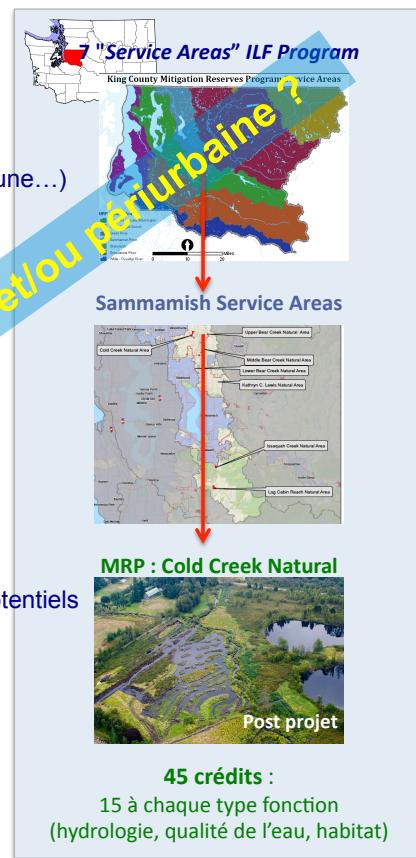
Impossibilité → renforcement du critère "qualité de la restauration"  
vers une augmentation des services écosystémiques

Eta de Washington : King County **Mitigation Reserves Program**

Gestion des fonds (non lucratif)

Vente de crédits aux titulaires de permis.

Transfert final au commanditaire du programme ILF



## Des questions pratiques incontournables

### → Quel taux d'échange ? Vous avez dit ratios ?

#### • **Surfaciques : Pas de recette miracle**

Chiffre dépendant des lieux, du type de compensation choisi et des circonstances

#### → Des exemples de ratios moyen de compensation surfacique

- Sur le terrain, 68 banques de compensation USA (Brown et Lant, 1999) **1,4 : 1**
- Recommandé (*National Research Council*, 2001) **1,78 : 1**
- Indiana, calcul du **ratio surfacique** à partir des **taux d'échec de la restauration et création de zones humides**, selon le critère végétation (Robb, 2002),

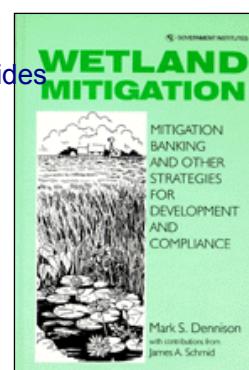
Type milieux	Ratio	Taux d'échec (restauration, création)
Prairie humide	<b>7,6 : 1</b>	87%
Forêt humide	<b>3,5 : 1</b>	71%
Arbustif	<b>1,8 : 1</b>	43%
Marais peu profond	<b>1,2 : 1</b>	17%
Plan d'eau	<b>1 : 1</b>	17%

- Non prise en compte de la diversité écologique des zones humides
- Inadapté pour une amélioration/préservation

- **Fonctionnels** : Les méthodes d'évaluation des fonctions des zones humides  
De nombreuses approches ± sophistiquées, de l'expérimentation

### Un risque non négligeable (Womble et Doyle, 2012)

- **le dédoublement des fonctions** dans un même site
  - **la vente de crédits** correspondants indépendamment les uns des autres
- Problème de comptabilité, de traçabilité individuelle

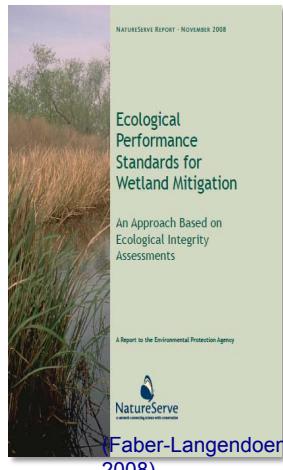


## Des garanties de « réussite »

### → Suivi de la zone humide de compensation

- Maître d'ouvrage responsable du succès de la mesure, une fois celle-ci réalisée
- **Plan de gestion** structuré afin de garantir la compensation des fonctions et services à long terme
- Evaluation tous les ans pendant 10 ans minimum

Processus de gestion adaptive du site  
(d'après Elzinga *et al.*, 1998, *in* WSDOT, 2009)



### → Evaluation de la conformité et devenir du site

Lacunes constatées dans le suivi des mesures compensatoires

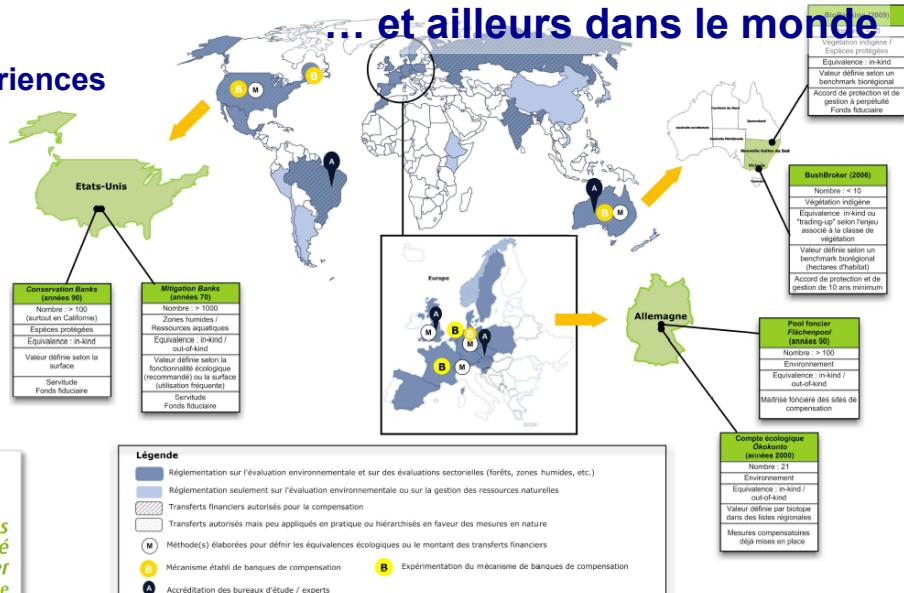
- Procédure de contrôle normalisée pour un bon suivi
- Inscription de la zone humide dans un cadre réglementaire de protection ?

### → Un système de bancarisation de l'information et de communication RIBITS (Regulatory In-lieu Fee and Bank Information Tracking System)



### S'inspirer des expériences menées ailleurs

Etat des lieux de la mise en œuvre des mesures compensatoires dans les 29 pays étudiés (Vilaysack et Morandeau, 2012)



### Australie: BushBroker + BioBanking

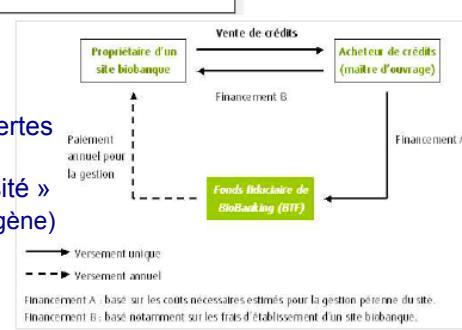
1991 Loi de gestion des ressources

= éviter, corriger ou compenser les pertes

1996 NSW Wetlands Management Policy

2002 Mesures compensatoires « biodiversité »  
promotion d'un gain net (végétation indigène)

Processus de transaction financière dans une biobanque DECC, 2007  
(Vilaysack et Morandeau, 2012)



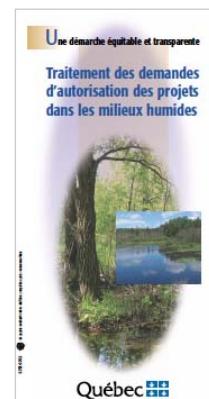
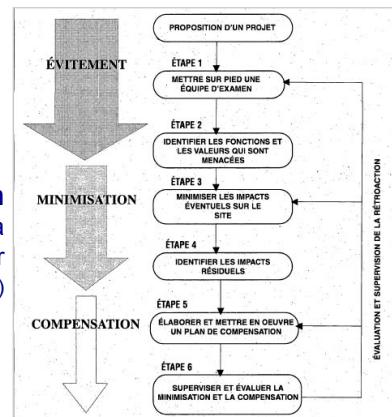
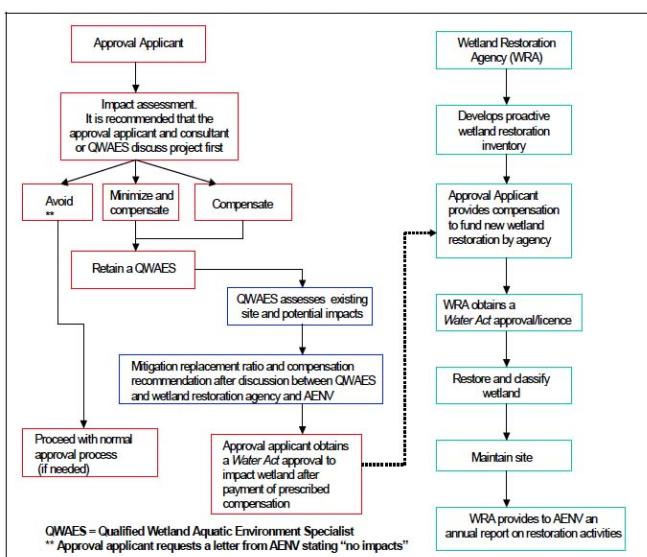
# ... et au nord de l'Amérique du Nord

## Canada

- Une culture de la compensation d'habitats de poissons
- 1992 Aucune perte nette des terres humides
- 1998 Procédure spécifique pour les terres humides
- Variation selon les provinces

### Etapes du processus d'atténuation

La plus critiquée : l'identification des projets à venir, prendre les mesures nécessaires pour éviter des localisations en ZH (Cox et Grose, 2000)



### Système schématique de compensation-mitigation ZH

(Alberta Environment, 2007)

## Jeunesse et variété des démarches européennes...

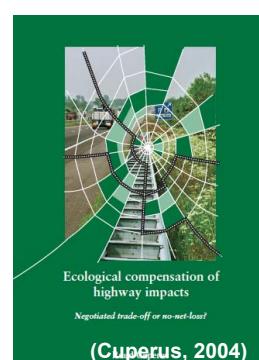
- **Allemagne**, un programme de compensation « biodiversité » évolutif  
Pools fonciers (Flächenpools) et Comptes écologiques (Ökokontos)
  - Etude d'impact (EIE) et séquence ERC, objectif « aucune perte nette »
  - 2 modes de compensation *in situ (restauration, gestion)* à équivalence  
« complémentaire », ultérieure et *ex situ* via un marché et des écopoints
  - Contrôle par les agences environnementales, des adaptations/Land



- **Royaume-Uni**, de grandes ambitions
  - Directive « Habitats », banques d'habitats, EIE/projets prioritaires, endiguement
  - Ratios surfaciques recommandés (Briggs et al., 2009)
    - 2:1 habitats faciles à restaurer, terrains contigus ou similaires
    - 3:1 restauration, création à risque
    - 4:1 amélioration de l'habitat
  - **Programme pilote test de compensation/biodiversité** (printemps 2012)

- **Pays-Bas**, priorité aux réparations suite aux aménagements importants (Fonds pour le Financement de la Nature, 2010)

- **Suède**, accent mis sur Natura 2000 et la compensations biodiversité
- **Espagne**, un problème de confusion entre atténuation et compensation
- **Suisse**, une politique de compensation des paysages = MAE



# Des problématiques en suspens

## → Réalité de la restauration

Que disent les méta-analyses ?

- 311 articles sur la restauration de ZH

Constat : peu de restaurations à grande échelle et de suivi des résultats à moyen terme (15 projets) (Wagner *et al.*, 2008)

- 621 projets de restauration ou création de ZH

Constat : perte globale de structure et de fonctionnement  
(Moreno-Mateos *et al.*, 2012)

Restoration Ecology

(Wagner *et al.*, 2008)

Wetland Restoration in the New Millennium:  
Do Research Efforts Match Opportunities?

Kelly I. Wagner,<sup>1</sup> Sally K. Gallagher,<sup>1</sup> Matthew Hayes,<sup>2</sup> Beth A. Lawrence,<sup>1</sup> and Joy B. Zedler<sup>1,3</sup>

OPEN ACCESS Freely available online

PLOS BIOLOGY

Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems  
(Moreno-Mateos *et al.*, 2012)

## Wetlands and Climate change adaptation

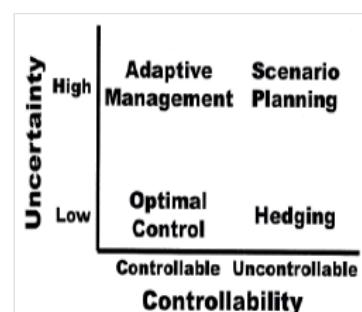


Sustaining and restoring wetlands:  
an effective climate change response

## → Intégration des effets des changements globaux

### Gestion dans l'incertitude (Peterson *et al.*, 2003)

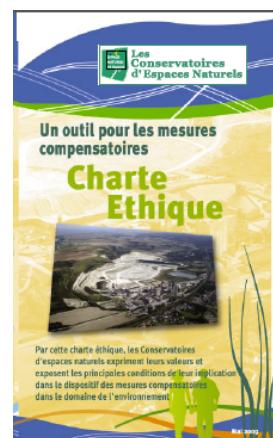
Planification de scénarios : systèmes avec beaucoup d'incertitude non contrôlable  
Autrement, réponses appropriées: contrôle optimal, limitation ou gestion adaptive



## Plus généralement, prendre des précautions

### → Ethique, quid des choix stratégiques, bascule vers les crédits de « nature », les banques, les marchés, les traders

Troquer les zones humides ?  
L'expérience étasunienne



### → La question de la professionnalisation et certification

Vers une reconnaissance professionnelle



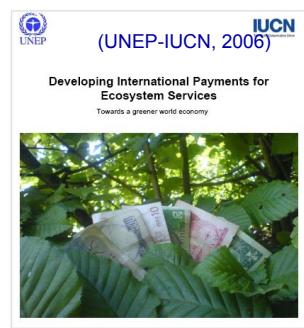
Association of State Wetland Managers, Inc.

## Mises en garde et perspectives

### → La Nature y gagne-t-elle (dynamisme, potentiel évolutif) ?

Quid de :

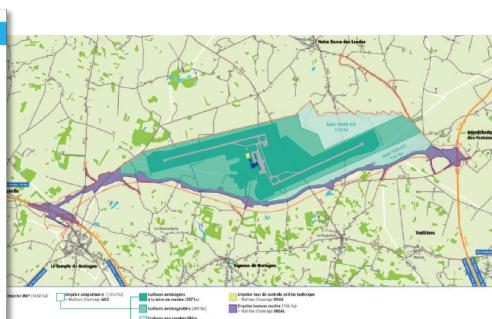
- l'enclenchement d'une spirale conduisant à encore plus de destruction
- du « droit à la destruction » contre un permis payé et validé



### → Mieux que rien ?

De nouveaux paradigmes pour les négociations et les compromis ?

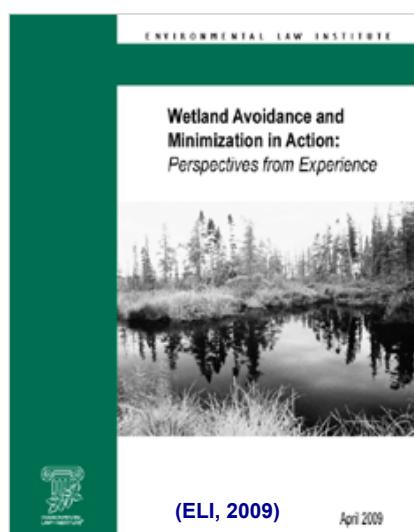
→ Paiement des services rendus par les écosystèmes (PSE)



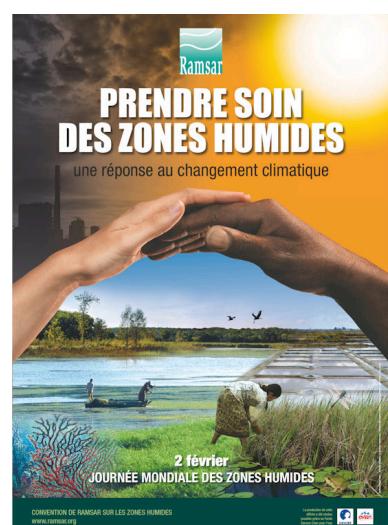
## Finalement

### Priorité des priorités

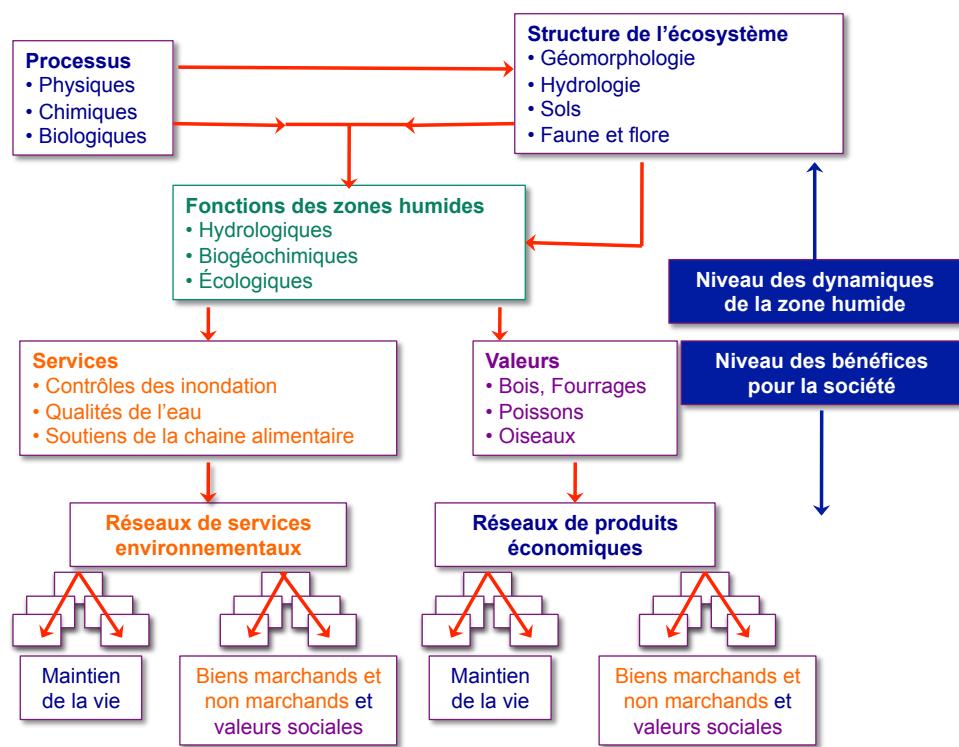
Ne pas détruire ou dégrader les zones humides



Merci de votre attention



## Zones humides, les fonctions mises en exergue



(adapté de Maltby *et al.*, 1996)

Production de nombreux **services** et **valeurs** importants d'un point de vue environnemental et économique par les processus, fonctions et structure des zones humides

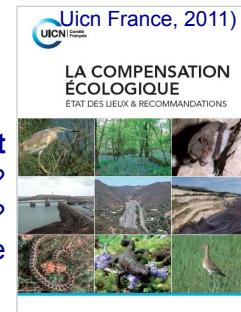
## Origine d'un regain d'intérêt pour les fonctions et services ?

### Stratégie de défense/limites de la gamme de mesure de protection

Un état de santé fragile des zones humides

#### Le check-up décennal (ZHIM)

→ Poursuite des dégradations, augmentation des pressions



#### → Changement de braquet

- Affichage du Grenelle de l'environnement « Pas de pertes nettes, des gains » ?

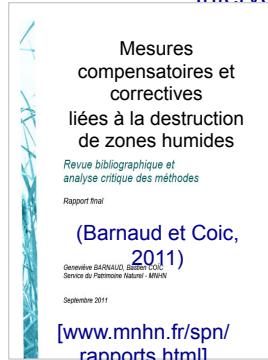
- Une volonté : la procédure d'étude d'impact allant à terme ?

- Le triptyque ERC (Eviter/Réduire/Compenser), vers une doctrine nationale

### Contexte français

- Evolution des seuils de soumission des plans programmes projets
- Précision du champ : impacts aux continuités écologiques, fonctionnalité des écosystèmes
- Décisions d'autorisation : description obligatoire des mesures ERC, des modalités de suivi
- Contrôle et sanctions/non respect des mesures compensatoires

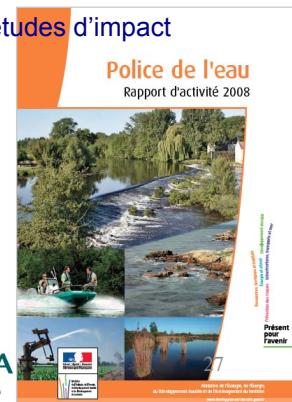
- Intervention de l'autorité administrative, création d'une police des études d'impact



**Directives :** Habitats-Oiseaux, DCE  
Etude d'impact sur l'environnement (EIE)  
Etude incidence loi sur l'eau...

#### → Compensation = une additionnalité

#### → Essor de l'ingénierie écologique, de la restauration écologique



## En bref, principales fonctions écologiques des marais

### Rôle « d'éponge » → Fonctions hydrologiques

Contrôle des crues, recharge des nappes, soutien de débits d'étiage, réduction de l'énergie des eaux/érosion

### Rôle de « filtre » → Fonction sédimentation

Clarification de l'eau, rétention (matière en suspension, produits associés)

### Rôle de « rein » → Transformation, dégradation

Épuration, décontamination de l'eau (azote, phosphore, métaux lourds, micropolluants organiques)

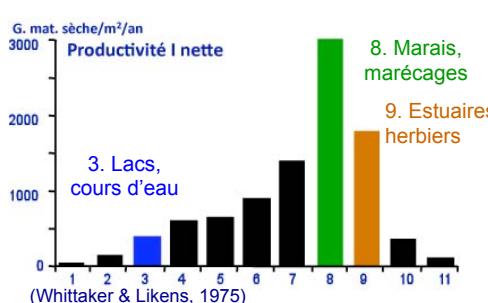
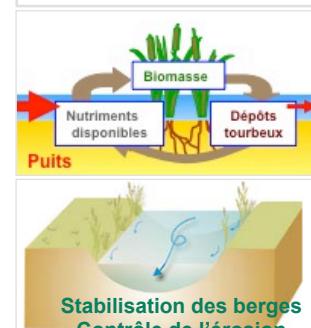
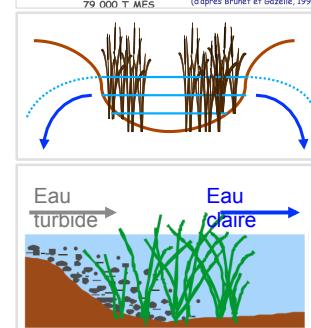
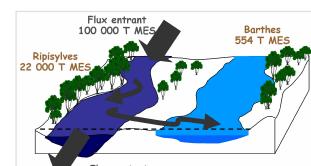
### Rôle de « réservoir d'espèces » → Réseaux trophiques complexes - Productivité - Écosystèmes dynamiques

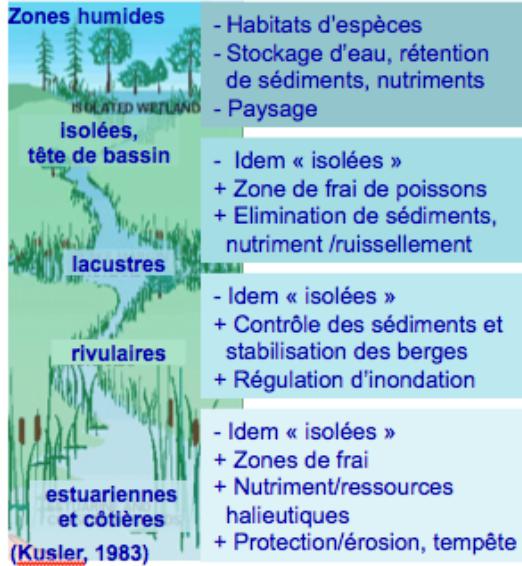
Habitats pour de nombreuses espèces, fourniture de ressources vivantes

→ Fonction réduction de l'énergie des eaux : Protection des berges

→ Fonction production d'humus : Tourbe (fertilisation, énergie)

→ Fonction régulation des grands cycles : Rôle/changements globaux





## D'amont en aval

## **Des fonctions en partie distinctes selon la localisation des zones humides dans le bassin versant**

- Un fonctionnement original
  - Des fonctions plus ou moins communes
  - Des performances différencierées

• Fortes relations entre

**Fonctionnement – Fonctions écologiques - Services écosystémiques**

  - Importance de la variabilité, résilience des fonctions
  - Influence de l'interdépendance des écosystèmes

- ## • Effets et appréciations différenciés des services



## Des principes / fonctionnalités des ZH

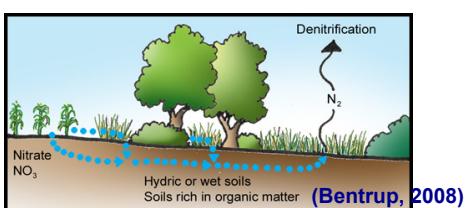
- ➔ Chaque ZH, plusieurs fonctions et valeurs mais pas toutes
  - ➔ Expression changeante (efficacité, ampleur) des fonctions selon les zones humides (type, intégrité, stade de développement, saison...)
  - Restauration, création d'une zone humide

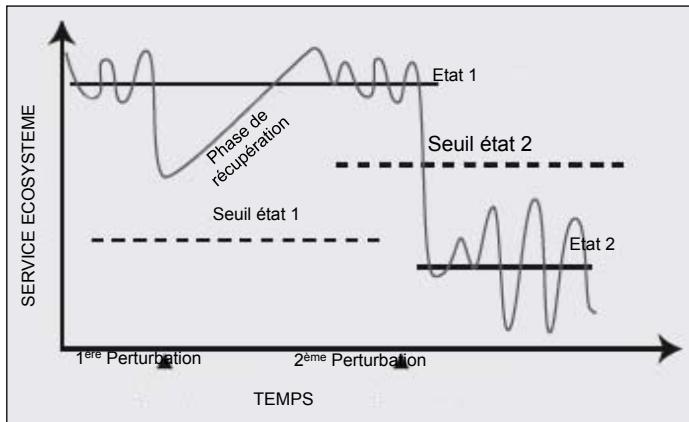
**Objectif: améliorer, engendrer  
1 ou x fonction(s)**

→ « Pousser, optimiser » une fonction se fait au détriment d'autres

## Compatibilité, incompatibilité entre les fonctions

- - Incompatible- Parfois incompatible  
± Effets très variables
- Amplification + Parfois amplification
- se vide, pas d'interaction ou effet connu





(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

## Des systèmes dynamiques aux réactions en partie imprévisibles

### → Effet des perturbations

Comment définir les seuils d'irréversibilités par rapport à la récupération de fonctions écologiques?

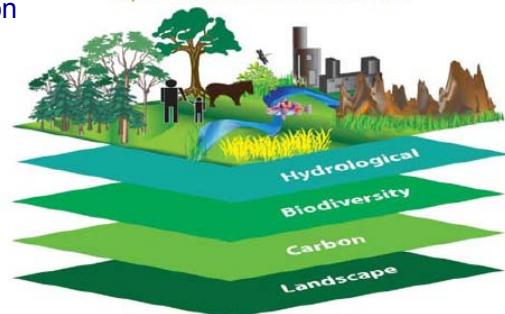
### → Incertitudes quant aux projections sur le futur des services écosystémiques

- Possibilité de feedbacks écologiques sur l'intensification des modifications anthropiques  
= Vulnérabilité accrue
- Risque et conséquence de changements de régimes
- Ambiguïté et incertitude  
= Tous les futurs possibles

Comment hiérarchiser les programmes prioritaires d'intervention à moyen terme ?

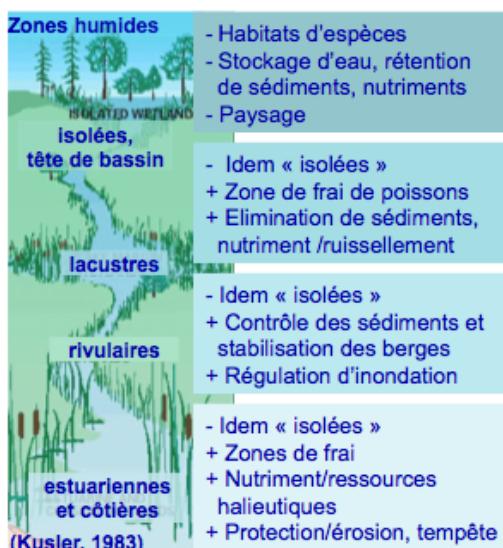
### Multiple ecosystem services

Bundling ecosystem services, where possible, can help to make PES more cost-effective



Source: OECD, 2010.

(Ocde, 2011)



## D'amont en aval

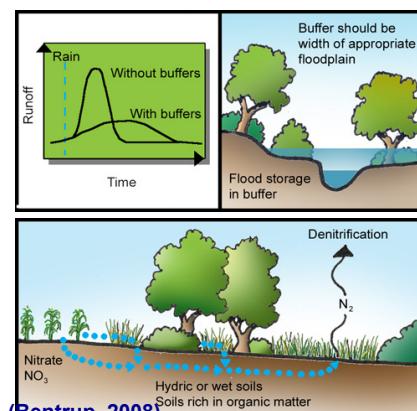
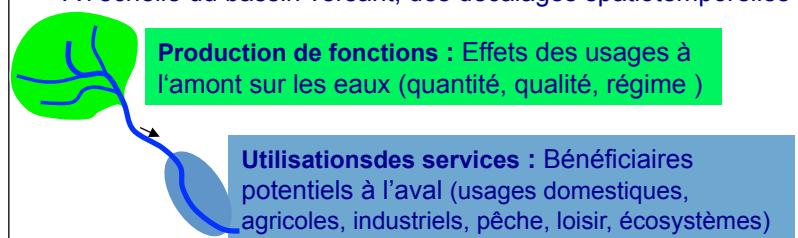
### Des fonctions en partie distinctes d'amont en aval

- Selon la **localisation**, des zones humides
- Un **fonctionnement original**
- Des fonctions **plus ou moins communes**
- Fortes **relations entre Fonctionnement – Fonctions écologiques - Services écosystémiques**
- Variabilité, résilience des fonctions
- Performances différencierées selon les écosystèmes
- Influence de l'interdépendance des écosystèmes
- Effets et appréciations différencierés des **services**

### → Insertion territoriale

### des « infrastructures naturelles »

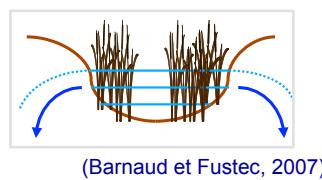
A l'échelle du bassin versant, des décalages spatiotemporels



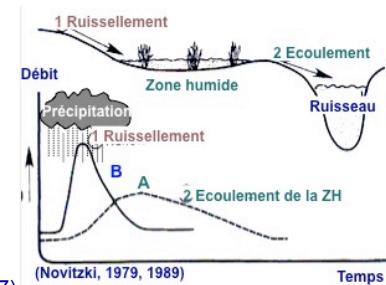
# En bref, principales fonctions écologiques des marais

## Rôle « d'éponge » → Fonctions hydrologiques

Contrôle des crues, recharge des nappes, soutien de débits d'étiage, réduction de l'énergie des eaux/érosion



(Barraud et Fustec, 2007)

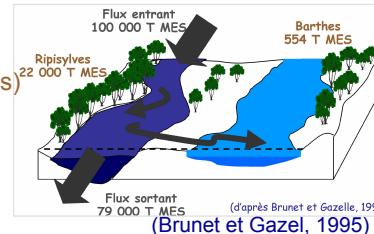
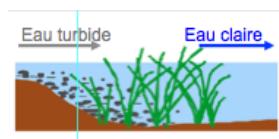


(Novitzki, 1979, 1989)

Temps

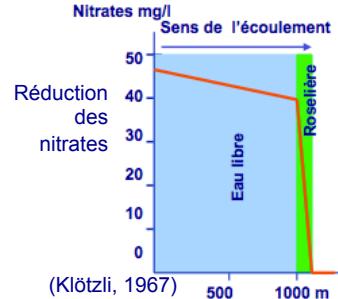
## Rôle de « filtre » → Fonction sédimentation

Clarification de l'eau, rétention (matière en suspension, produits associés)



(d'après Brunet et Gazelle, 1995)

(Brunet et Gazelle, 1995)

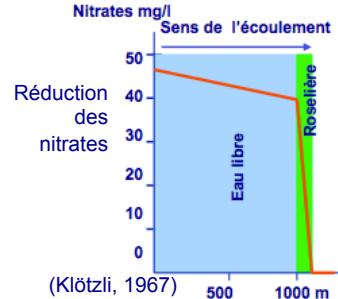
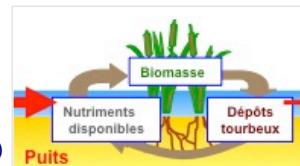


(Klötzli, 1967)

## Rôle de « rein » → Transformation, dégradation

Épuration, décontamination de l'eau (azote, phosphore, métaux lourds, micropolluants organiques)

(Mitsch et Gosselink, 1993)  
(Mitsch et Gosselink, 1993)



(Klötzli, 1967)

# Suite, principales fonctions écologiques des marais

	Disponibilité d'habitats
	Filtration de l'eau
	Rétention des eaux de crue
	Protection contre l'érosion
	Loisirs – canotage, pêche, observation des oiseaux
	Cueillette – petits fruits, graines
	Stockage du carbone
	Cycle des éléments nutritifs
	Reconstitution des réserves d'eau souterraine

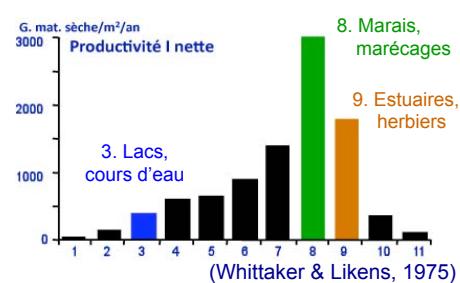
## Rôle de « réservoir d'espèces »

→ Réseaux trophiques complexes - Productivité - Écosystèmes dynamiques

Habitats pour de nombreuses espèces, fourniture de ressources vivantes



Nicolle

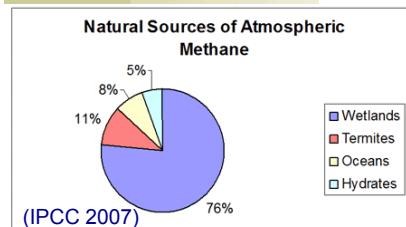


(Whittaker & Likens, 1975)

## → Fonction réduction de l'énergie des eaux : Protection des berges



Stabilisation des berges  
Contrôle de l'érosion



(IPCC 2007)

→ Fonction production d'humus : Tourbe (fertilisation, énergie)

→ Fonction régulation des grands cycles : Rôle/changements globaux

A l'échelle mondiale,  
production de CH<sub>4</sub> par les ZH