

# Éléments pour une gestion durable des écosystèmes. Le cas des zones humides

Sylvie Ferrari

*Climathiques, 13-17 Janvier 2025, CIRM, Marseille*

# Plan

1. Zones Humides et services écosystémiques
2. Cadre méthodologique : Approche fonctionnelle des zones humides
3. Potentiel de résilience écologique et Durabilité du socio-écosystème
4. Etude de cas : les zones humides de l'estuaire de la Gironde
5. Perspectives : propriétés des services écosystémiques et demande sociétale

- Ferrari S., Lavaud S., Pereau JC. 2017. A functional approach of ecosystems for a sustainable management of coastal wetlands in the Gironde Estuary region (France), in Diemer A. et al., *European Union and Sustainable Development, Challenges and Prospects*, Ed. Oeconomia, p. 95 – 119.

# 1. Zones Humides et services écosystémiques

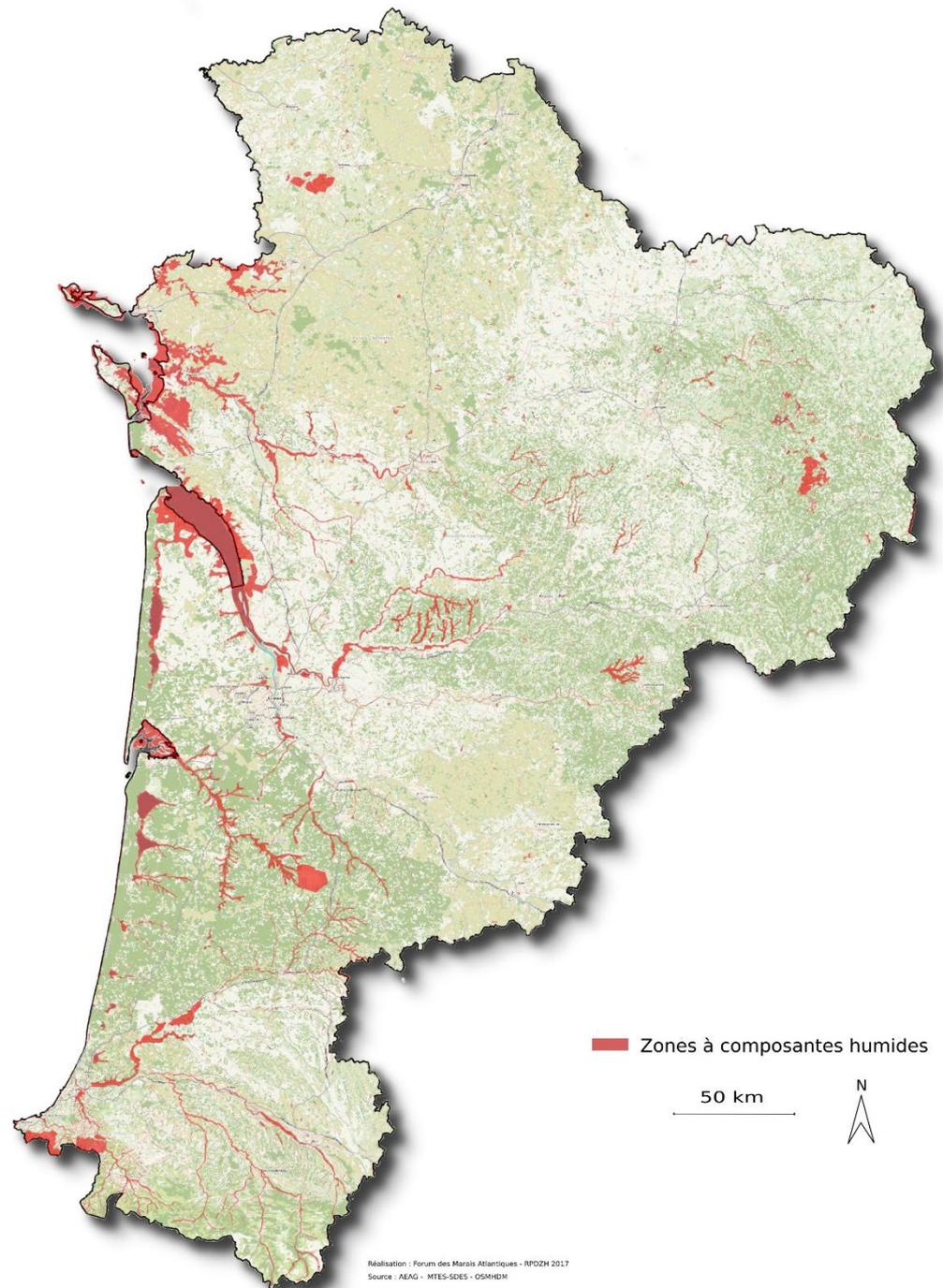
- Des écosystèmes très productifs mais aussi parmi les plus menacés.
- Exemples :
  - Aménagement des cours d'eau (endiguement, curage...)
  - Prélèvements excessifs d'eau
  - Drainage
  - Remblai
  - Intensification des activités agricoles

- De nombreuses définitions des zones humides.
- Convention de Ramsar - traité international adopté en 1971 et entré en vigueur en 1975 – a adopté la définition suivante :
- *« des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres ».*

Région Nouvelle-Aquitaine :  
**6 principaux types de zones humides :**

- Marais rétro littoraux
- Fonds de vallée alluviale
- Lacs et étangs
- Mares
- **Lagunes et estuaires**
- Zones humides de tête de bassin
- Tourbières

Rapport AcclimaTerra, 2018.



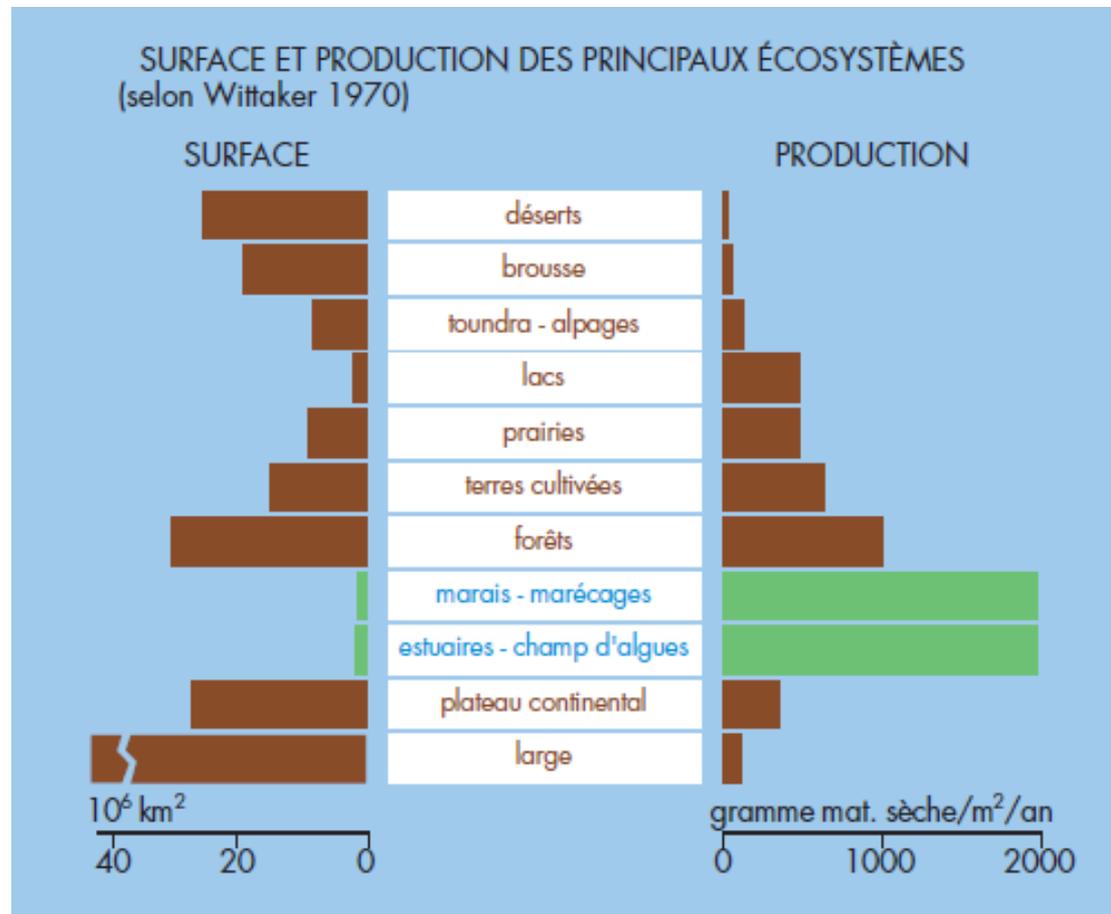
- Les zones humides se situant à **l'interface entre les milieux terrestre et aquatique**, le facteur eau est déterminant dans leur fonctionnement.
- La **fréquence de submersion** des terres et les **variations de salinité** ou de **matières nutritives** sont à l'origine des conditions de sols et d'habitats accueillant une végétation et une faune spécifiques.
- Ces caractéristiques sont donc **dépendantes de la localisation des milieux humides** au sein du bassin hydrographique et de la climatologie.



## Convention de Ramsar :

- Reconnaît l'intérêt majeur de ces écosystèmes particuliers qui rendent de nombreux services écologiques (régulation hydrologique, séquestration de CO<sub>2</sub>, qualité de l'eau, biodiversité, maîtrise des crues...)
- Elle a conduit à l'adoption d'un large consensus sur la nécessité de les protéger.

Grâce à l'abondance de l'eau et des matières nutritives, la production biologique des zones humides est intense. Les marais littoraux figurent parmi les milieux les plus productifs de la planète, en quantité de matière organique produite.





LETTERS

edited by Etta Kavanagh

A World Without Mangroves?

AT A MEETING OF WORLD MANGROVE EXPERTS HELD LAST YEAR IN Australia, it was unanimously agreed that we face the prospect of a world deprived of the services offered by mangrove ecosystems, perhaps within the next 100 years.

Mangrove forests once covered more than 200,000 km<sup>2</sup> of sheltered tropical and subtropical coastlines (1). They are disappearing worldwide by 1 to 2% per year, a rate greater than or equal to declines in adjacent coral reefs or tropical rainforests (2–5). Losses are occur-

ring in almost every country that has mangroves, and rates continue to rise more rapidly in developing countries, where >90% of the world's mangroves are located. The veracity and detail of the UN Food and Agriculture Organization data (2) on which these observations are based may be arguable, but mangrove losses during the last quarter century range consistently between 35 and 86%. As mangrove areas are becoming smaller or fragmented, their long-term survival is at great risk, and essential ecosystem services may be lost.

Where mangrove forests are cleared for aquaculture, urbanization, or coastal landfill or deteriorate due to indirect effects of pollution and upstream land use (3, 4), their species richness is expected to decline precipitously, because the number of mangrove plant species is directly correlated with forest size (6, 7). Examples from other ecosystems have shown that species extinctions can be followed by loss in functional diversity, particularly in species-poor systems like mangroves, which have low redundancy per se (8). Therefore, any further decline in mangrove area is likely to be followed by accelerated functional losses. Mangroves are already critically endangered or approaching extinction in 26 out of the 120 countries having mangroves (2, 9).

Deforestation of mangrove forests, which have extraordinarily high rates of primary productivity (3), reduces their dual capacity to be both an atmospheric CO<sub>2</sub> sink (10) and an essential source of oceanic carbon. The support that mangrove ecosystems provide for terrestrial as well as marine food webs would be lost, adversely affecting, for example, fisheries (11). The decline further imperils mangrove-dependent fauna with their complex habitat linkages, as well as physical benefits like the buffering of seagrass beds and coral reefs against the impacts of river-borne siltation, or protection of coastal communities from sea-level rise, storm surges, and tsunamis (12, 13). Human communities living in or near mangroves would lose access to sources of essential food, fibers, timber, chemicals, and medicines (14).

We are greatly concerned that the full implications of mangrove loss for humankind are not fully appreciated. Growing pressures of urban and industrial developments along coastlines, combined with climate change and sea-level rise, urge the need to conserve, protect, and restore tidal wetlands (11, 13). Effective governance structures, socioeconomic risk policies, and education strategies (15) are needed now to enable societies around the world to reverse the trend of mangrove loss and ensure that future generations enjoy the ecosystem services provided by such valuable natural ecosystems.

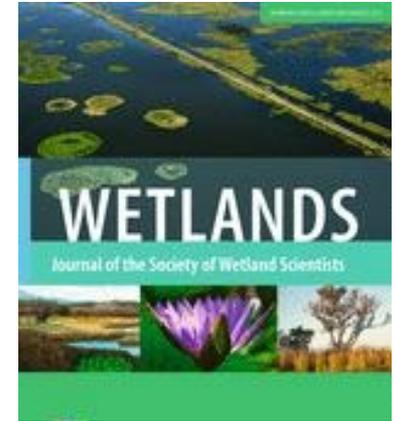
N. C. DUKE,<sup>1</sup> J.-O. MEYNECKE,<sup>2</sup> S. DITTMANN,<sup>3</sup> A. M. ELLISON,<sup>4</sup> K. ANGER,<sup>5</sup> U. BERGER,<sup>6</sup> S. CANNICCI,<sup>7</sup> K. DIELE,<sup>8</sup> K. C. EWEL,<sup>9</sup> C. D. FIELD,<sup>10</sup> N. KOEDAM,<sup>11</sup> S. Y. LEE,<sup>2</sup> C. MARCHAND,<sup>12</sup> I. NORDHAUS,<sup>6</sup> F. DAHDOUH-GUEBAS<sup>13</sup>

Emerging from the embrace of a mangrove tree-lined channel in northern Brazil, these pescadores, like coastal fishers worldwide, know that healthy mangroves mean good fishing and a secure livelihood.

When mangrove forests are cleared for aquaculture, urbanization, or coastal landfill or deteriorate due to indirect effects of pollution and upstream land use (3, 4), their species richness is expected to decline precipitously, because the number of mangrove plant species is directly correlated with forest size (6, 7). Examples from other ecosystems have shown that species extinctions can be followed by loss in functional diversity, particularly in species-poor systems like mangroves, which have low redundancy per se (8). Therefore, any further decline in mangrove area is likely to be followed by accelerated functional losses. Mangroves are already critically endangered or approaching extinction in 26 out of the 120 countries having mangroves (2, 9).

Deforestation of mangrove forests, which have extraordinarily high rates of primary productivity (3), reduces their dual capacity to be both an atmospheric CO<sub>2</sub> sink (10) and an essential source of oceanic carbon. The support that mangrove ecosystems provide for terrestrial as well as marine food webs would be lost, adversely affecting, for example, fisheries (11). The decline further imperils mangrove-dependent fauna with their complex habitat linkages, as well as physical benefits like the buffering of seagrass beds and coral reefs against the impacts of river-borne siltation, or protection of coastal communities from sea-level rise, storm surges, and tsunamis (12, 13). Human communities living in or near mangroves would lose access to sources of essential food, fibers, timber, chemicals, and medicines (14).

<sup>1</sup>Centre for Marine Studies, University of Queensland, St Lucia, Qld 4072, Australia. <sup>2</sup>Australian Rivers Institute and School of Environment, PMB 50 GCAM, Griffith University, Qld 9726, Australia. <sup>3</sup>School of Biological Sciences, Flinders University, GPO Box 2100, Adelaide, SA 5001, Australia. <sup>4</sup>Harvard University, Harvard Forest, 324 North Main Street, Petersham, MA 01366, USA. <sup>5</sup>Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Kohlenbrennerei, D-27490 Helgoland, Germany. <sup>6</sup>Technical University Dresden, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, Postfach 1117 01135 Tharandt, Germany. <sup>7</sup>Dipartimento di Biologia Animale e Genetica "Leo Pardi", Università degli Studi di Firenze, Via Romana, 17, I-50125 Firenze, Italy. <sup>8</sup>Center for Tropical Marine Ecology, Fahrenheitstrasse 6, 28359 Bremen, Germany. <sup>9</sup>U.S. Department of Agriculture Forest Service, 2126 NW 7th Lane, Gainesville, FL 32603, USA. <sup>10</sup>Faculty of Science (Gore Hill), University of Technology, Sydney, Post Office Box 123, Broadway NSW 2007, Australia. <sup>11</sup>Laboratory of General Botany and Nature Management, Mangrove Management Group, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, B-1050 Brussels, Belgium. <sup>12</sup>IGIRM, EA 3325, University of New Caledonia, Noumea, New Caledonia, and UR 103, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Marseille, France. <sup>13</sup>Biocomplexity Research Focus, c/o Laboratory of General Botany and Nature Management, Mangrove Management Group, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, B-1050 Brussels, Belgium.



Wetlands  
<https://doi.org/10.1007/s13157-018-1064-z>

RAMSAR



The Second Warning to Humanity – Providing a Context for Wetland Management and Policy

C. M. Finlayson<sup>1</sup> • Gillian T. Davies<sup>2</sup> • William R. Moomaw<sup>3</sup> • G. L. Chmura<sup>4</sup> • Susan M. Natali<sup>5</sup> • J. E. Perry<sup>6</sup> • N. Roulet<sup>4</sup> • Ariana E. Sutton-Grier<sup>7,8</sup>

Received: 12 March 2018 / Accepted: 19 July 2018  
© Society of Wetland Scientists 2018

Des zones humides menacées...en déclin un peu partout dans le monde...  
Leurs services écosystémiques aussi !

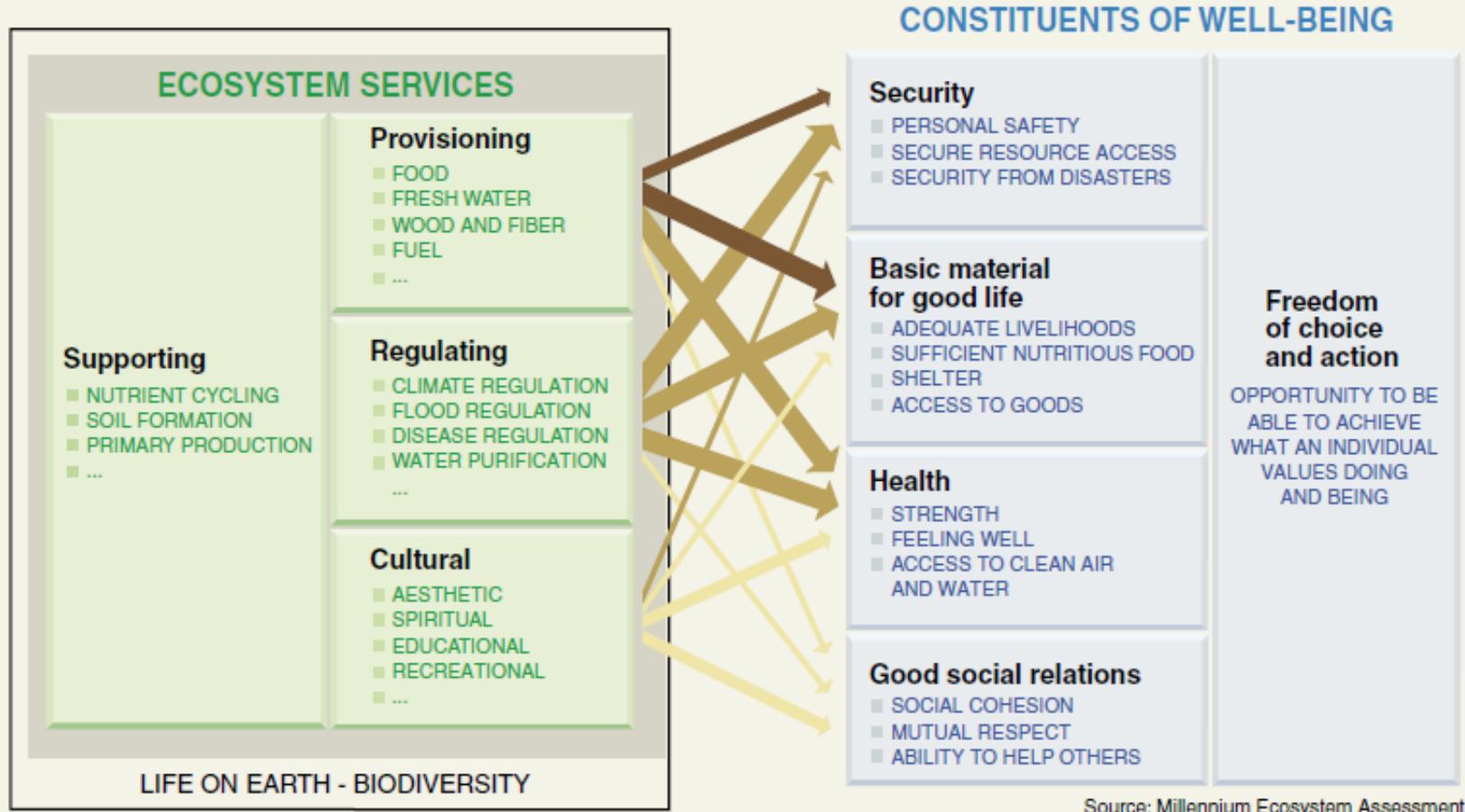
## Notion de Services écosystémiques

L'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (MEA, 2005) définit les services écosystémiques comme l'ensemble des contributions assurées par le fonctionnement des écosystèmes (biens et services dont bénéficient les sociétés).

Ces **contributions de la nature qui participent au bien-être des populations** sont de quatre types :

- les **services d'auto-entretien** (services qui sont nécessaires à la production d'autres services : la production primaire, le cycle des nutriments et la formation des sols),
- les **services d'approvisionnement** (bois, alimentation...),
- les **services de régulation** (régulation de l'eau, du climat, séquestration du carbone...)
- les **services culturels** regroupant les biens non matériels (services de récréation, spirituels, santé, patrimoine...).

D'après le MEA, les relations entre les composantes des SE et celles du bien-être sont représentées de la manière suivante :



Source: Millennium Ecosystem Assessment

ARROW'S COLOR Potential for mediation by socioeconomic factors	ARROW'S WIDTH Intensity of linkages between ecosystem services and human well-being
Low	Weak
Medium	Medium
High	Strong

# Pour les zones humides :

## Fonctions

Production primaire
Production secondaire
Réseaux trophiques
Zone de reproduction et de nourricerie
Richesse spécifique et diversité génétique
Contrôle biologique
Formation d'habitats pour les espèces vivantes
Stockage des déchets et des polluants
Cycles biogéochimiques
Contrôle de l'érosion et de la sédimentation
Formation de barrières physiques
Formation de paysages plaisants

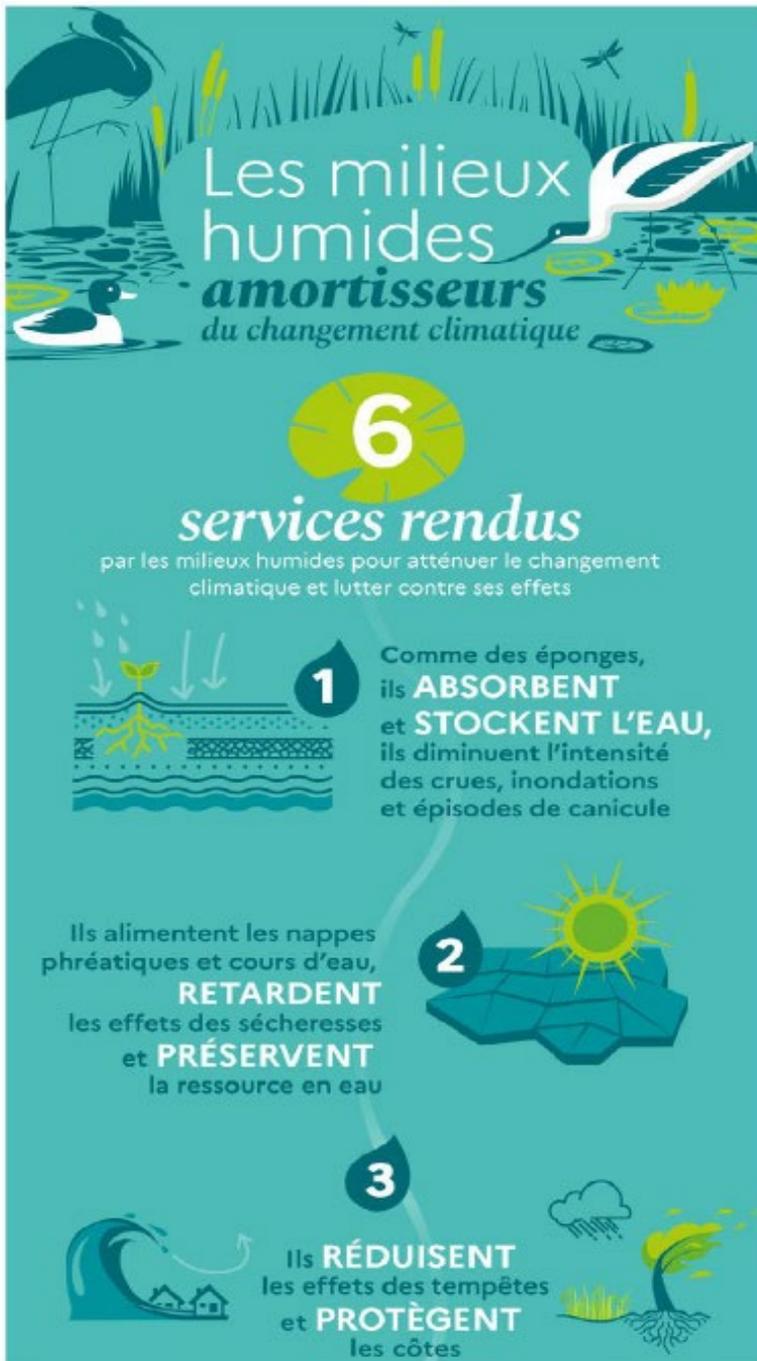
## Services

EFESE

Biotic materials and biofuels
Food Provision
Water storage and provision
Air quality regulation
Ocean nourishment
Life cycle maintenance
Biological regulation
Water purification
Weather regulation
Climate Regulation
Coastal Protection
Symbolic and aesthetic values
Recreation and tourism
Cognitive effects

	Provision
	Régulation
	Culturel

Source : EFESÉ:  
 Evaluation Française des  
 Ecosystèmes et des Services  
 Ecosystémiques (2017)



Source:  
Plan national milieux humides 2022-26

## 2. Cadre méthodologique : approche fonctionnelle des zones humides

### Objectifs :

- Caractériser le fonctionnement d'une zone humide
- Étudier comment les composantes naturelles de l'écosystème activent des fonctions écologiques spécifiques qui sont à l'origine des services écologiques fournis à la société (services écosystémiques).

L'approche fonctionnelle permet :

- Caractériser la durabilité - capacité à fournir des services écosystémiques de façon durable dans le temps - des ZH.
- Définir leur potentiel de résilience - capacité d'adaptation des ZH face à des pressions anthropiques.
- Proposer une analyse des réponses du milieu physique, de ses composantes naturelles et des fonctions biogéochimiques et écologiques qui découlent de pressions anthropiques.

- Pour cela, un modèle bioéconomique mobilise les fonctionnalités des ZH avec l'identification de composantes critiques/seuils, et permet de déterminer son potentiel de résilience à l'aide de différents états de fonctionnement du socio-écosystème.

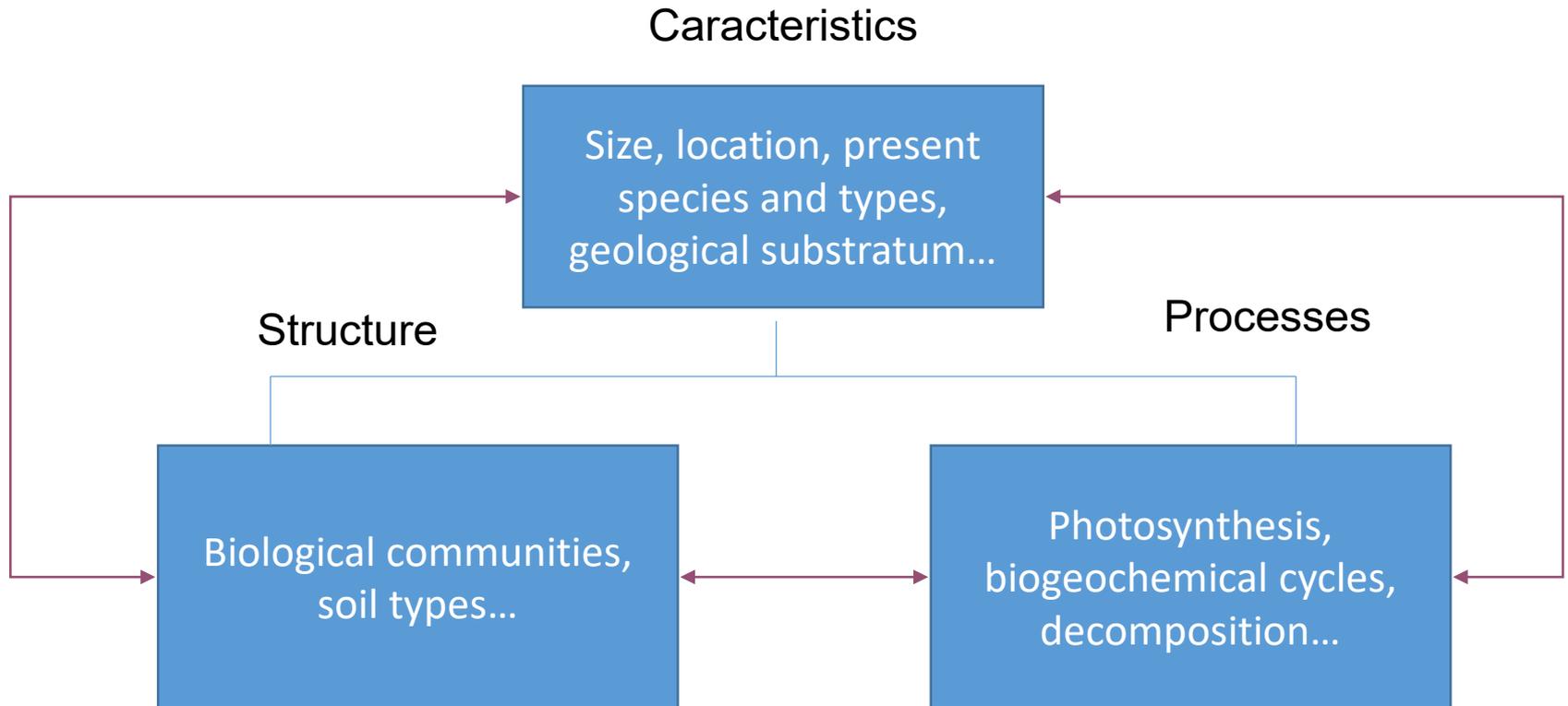
## Le fonctionnement de tout écosystème comprend 3 éléments essentiels:

- les caractéristiques : propriétés descriptives qui comprennent les aspects biologiques, chimiques et physiques tels que les espèces présentes, la taille, les propriétés du sol et la végétation ;
- la structure : fait référence à l'existence de communautés de plantes et d'animaux ; étroitement liée à l'existence de réseaux biotiques et abiotiques (interactions entre la végétation, les types de sol, les espèces vivantes, la biomasse...)
- les processus : font référence à la dynamique des transformations impliquant des flux d'énergie et de matière (photosynthèse, cycles biogéochimiques...).

→ Ces éléments reflètent à la fois les interactions entre les composantes de l'écosystème et les mécanismes impliqués ainsi qu'entre les fonctionnalités qu'ils activent.

# Approche fonctionnelle des ZH

→ Functionalities stem from different interactions  
(water regulation, climate regulation...)



# Une propriété importante: la résilience écologique

Two approaches in the literature:

Brand F.S., Jax K. (2007), «Focusing the meaning(s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object », *Ecology and Society*, 12(1)

- (1) « **Engineering Resilience** » : related to the rate of return of a system to some equilibrium state after a small disturbance;

Folke, 2006, « Resilience: the emergence of perspective for social-ecological systems analysis », *Global Environmental Change*, 16, 253-267.

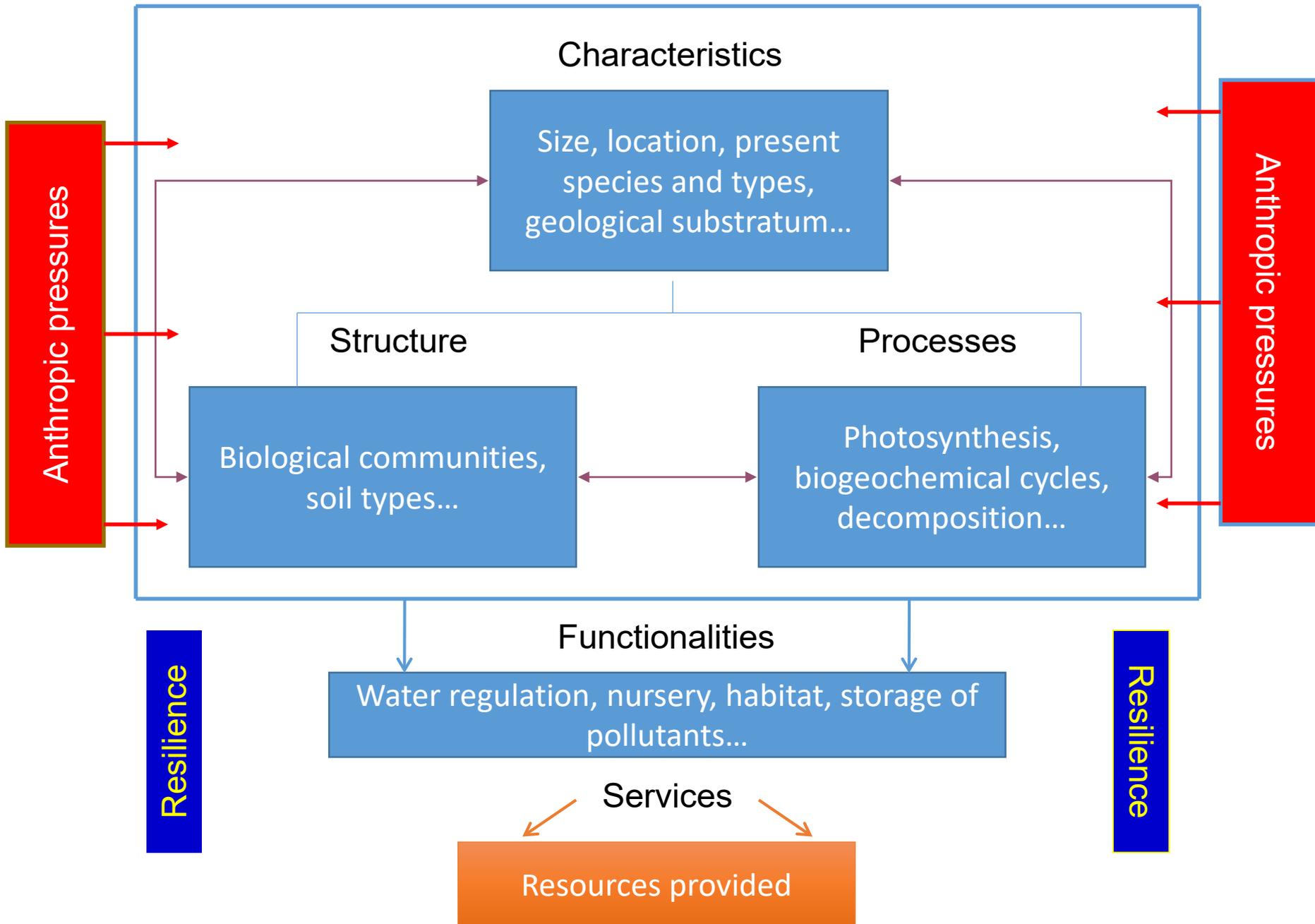
- (2) « **Holling Approach** » : deals with the potential for an ecosystem to maintain its structure and functions (adapt) in face of anthropic pressures.

Holling, 1973, Resilience and stability of ecological systems, *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 4, 1-23;

→ We choose this approach:

- to emphasise the relationship between functionalities and services

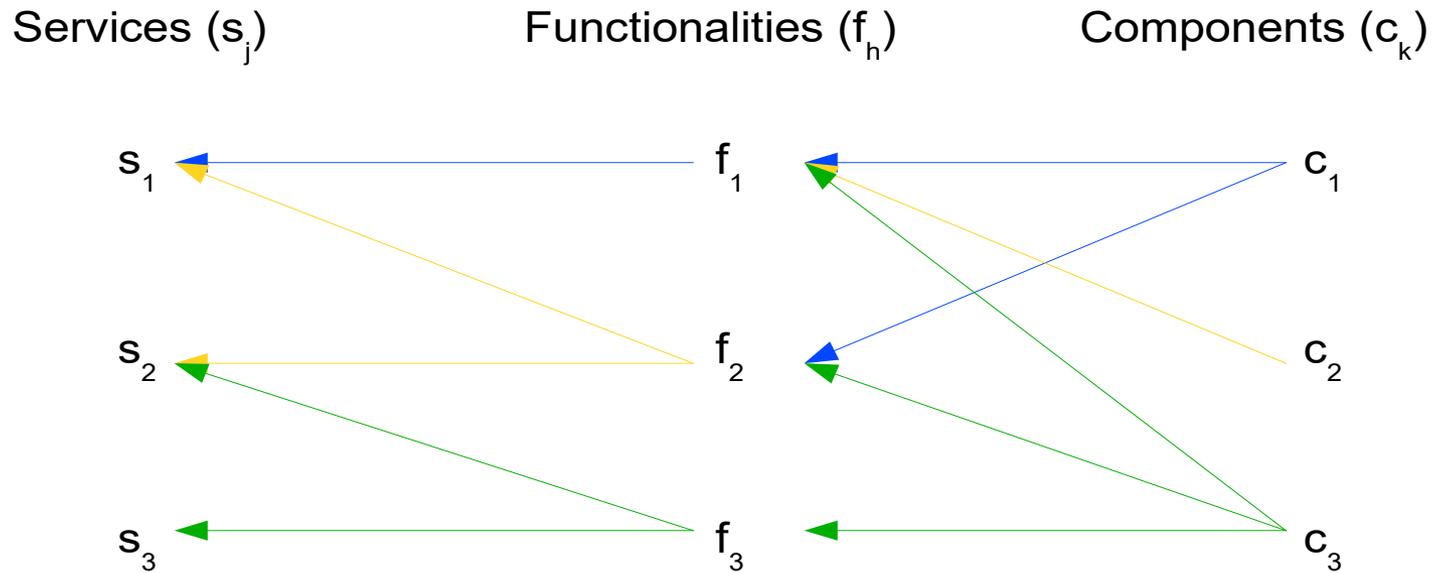
- to provide a qualitative appraisal on the functioning of the socio-ecosystem



- Sur la base de cette approche, il est possible d'étudier comment les composantes naturelles activent des fonctions écologiques spécifiques qui sont, à leur tour, à la source des services écosystémiques fournis à la société.
- Un point important concernant cette représentation : l'état de fonctionnement de l'écosystème est apprécié à travers des **relations conditionnelles** qui relient la fourniture de services à l'activation des fonctionnalités ainsi qu'à l'utilisation de composants particuliers.

Autrement dit, l'observation d'un nombre donné de services implique qu'un ensemble de fonctionnalités a été activé et que certains composants ont été utilisés. Cela suggère la séquence de causalité suivante (lecture de la droite vers la gauche), où la flèche indique "causé par" ou "résultant de" :

# Approche fonctionnelle



Séquence causale:  $S \leftarrow F \leftarrow C$ .

Conditions de criticité vérifient :

$$C_k \geq \underline{C}_k \text{ for } k=1, \dots, p$$

- Plus précisément :
  - On met en évidence l'ensemble des composantes naturelles ( $C_k$ ) qui sont impliquées dans les fonctionnalités ( $F_h$ ) opérant au sein de l'écosystème (et pour un ensemble donné de services  $S_j$ ) et les liaisons qui en résultent ;
  - On identifie aussi les valeurs seuils pour les composantes  $C_k$  qui sous-tendent les conditions de criticité liées au fonctionnement de l'écosystème.

# 3. Potentiel de résilience écologique et Durabilité du socio-écosystème

## Le potentiel de résilience

- Pour une ZH donnée, il est mesuré par le nombre de conditions de criticité qui sont remplies - satisfaites- pour chaque composante :  $\text{Card}(C_k \geq \underline{C}_k)$
- Conséquence :  
Selon que l'ensemble ou seulement une partie de l'ensemble des conditions de criticité seront satisfaites, on pourra observer des états de fonctionnement différents de la ZH.

# Résilience et durabilité de la ZH

- Durabilité :

Garantir un nombre donné de services procurés par la ZH afin de satisfaire les besoins de la collectivité.

Condition de durabilité :  $\text{Card}(S) \geq S_{\min}$  avec  $S_{\min}$  le nombre de services défini par le régulateur.

- De la résilience écologique à la durabilité :

→ Déterminer le potentiel de résilience qui satisfait un niveau donné de durabilité (mesuré à travers un niveau de services qui doit être maintenu au-delà du seuil de référence :  $S_{\min}$ ):

→ Exemple : si la condition de durabilité est associée à la provision d'un service :

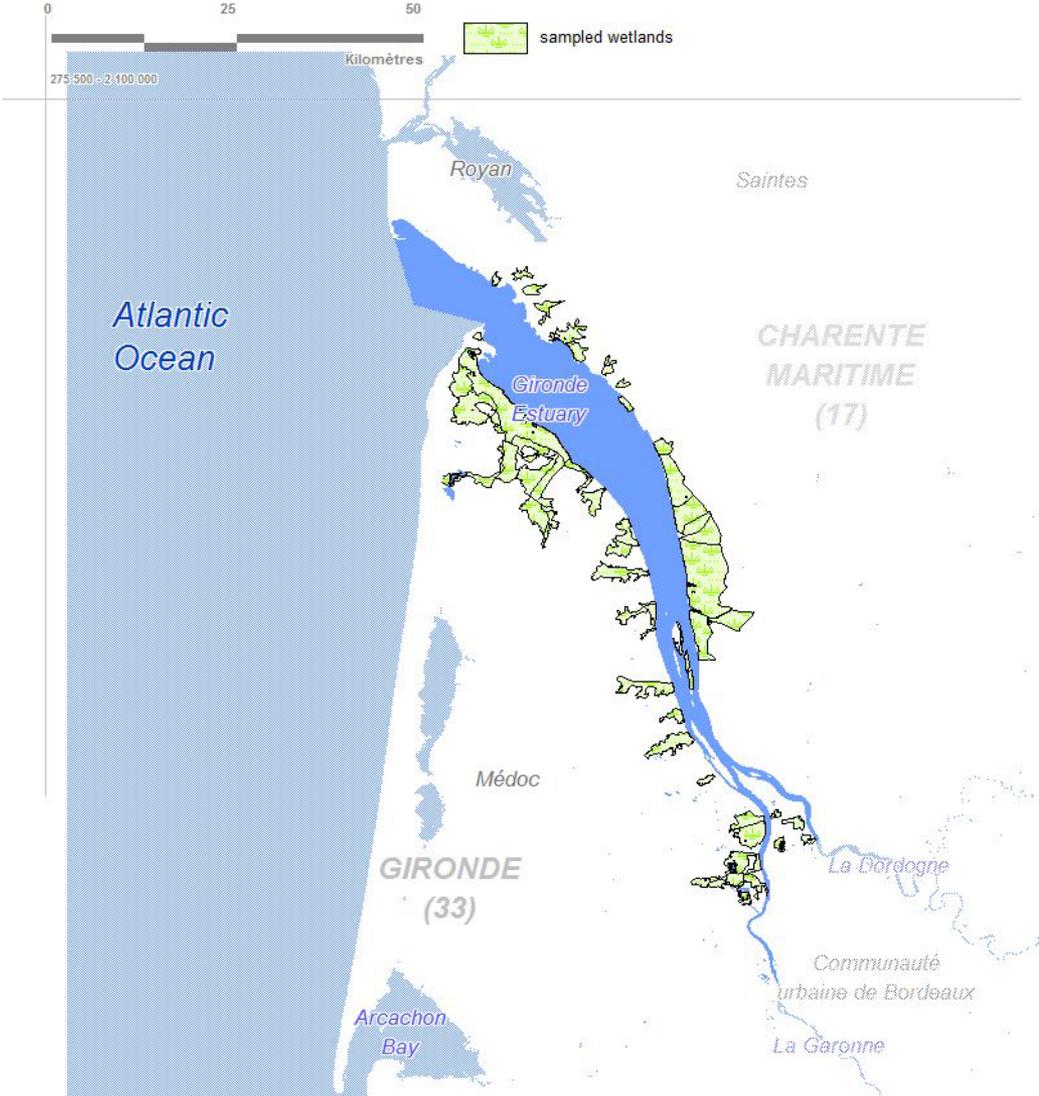
→ pour  $S_1$ , l'ensemble des solutions exige les composantes  $\{c_1, c_2, c_3\}$ ;

→ pour  $S_2$ , l'ensemble des solutions est donné par  $\{c_1, c_3\}$ ;

→ pour  $S_3$ , l'ensemble des solutions se limite à  $\{c_3\}$ .

→ Plusieurs niveaux du potentiel de résilience sont solutions (i.e. satisfont à un niveau donné de durabilité).

# 4. Etude de cas : les zones humides de l'estuaire de la Gironde



- Parmi les zones estuariennes européennes, l'estuaire de la Gironde est probablement le plus préservé sur le plan écologique tout en étant un territoire de zones humides le moins exploité économiquement.
- Mais ce grand territoire a connu depuis des années des diminutions de sa qualité environnementale globale :
  - Principaux facteurs de dégradation : pressions industrielles, agricoles, urbaines mais aussi la pêche.
- Les données :
  - Différentes sources mobilisées (entretiens avec des scientifiques, des gestionnaires locaux, stations d'échantillonnage des rivières du réseau).
  - Des indicateurs basés sur des données du potentiel de résilience écologique et de la durabilité des écosystèmes étudiés ont pu être élaborés. Pour ce faire, nous avons sélectionné les variables indicatrices les plus appropriées pour obtenir un ensemble de données relatif à 54 zones humides gérées par des propriétaires locaux. Les données mobilisées sont décrites dans le tableau suivant :

Table 1: Data description

Component	Description	Unit / class	Data sources
$c_1$ : Size	Area of the studied unit	km <sup>2</sup>	GRETHA
$c_2$ : Water Depth	Proportion of area under the 6 meter tidal range	%	GRETHA, GIS simulation
$c_3$ : Number of species	Fish density	Number of fishes per 1000 m <sup>2</sup> , 3 average values <sup>(1)</sup> : 22 (polyhaline area); 36 (oligohaline area); 64 (mesohaline area).	Nicolas 2010
$c_4$ : Biomass	Macrobenthos density	ind/m <sup>2</sup>	Agence de l'eau Adour Garonne (1992)
$c_5$ : Salinity	salinity classes	3 classes: oligohaline; mesohaline; polyhaline.	Nicolas (2010)
$c_6$ : Vegetation cover	Main vegetation type based on a 15 class vegetation cover typology	15 classes: 1: thickets; 2: humid grasslands; tall herbs; 3: humid grassland; short grass; 4: fens and bogs; 5: coastal salt meadows; 6: brackish or saline water bodies; 7: standing freshwater bodies; 8: riparian swamp forests and brush; 9: forests; 10: poplar plantations; 11: groves and tree plantations; 12: orchards; 13: field crops, horticulture; 14: vineyards; 15: man-made landscape	SIMETHIS-SYMBIOSE, GRETHA & GERA
$c_7$ : Water Quality	TSS concentration	3 classes of average values in mg/l <sup>(2)</sup> : [89 <sub>surface</sub> , 204 <sub>depth</sub> ]; [292 <sub>surface</sub> , 835 <sub>depth</sub> ]; [398 <sub>surface</sub> , 1151 <sub>depth</sub> ]	SOMLIT
$c_8$ : Size of the purification area	Proportion of available purification area	%	GREThA, GIS

La modélisation se concentre sur 2 fonctions essentielles :

- les fonctions « habitat » et « régulation »
- La fonction habitat est associée aux fonctionnalités de nurserie et de refuge.
- La fonction régulation repose sur les fonctionnalités de régulation de l'eau et de traitement des déchets (épuration).
- L'activation de ces fonctionnalités est liée à la fourniture de 2 services pour la collectivité :
  - les ressources halieutiques (S1)
  - l'approvisionnement en eau (S2)

# An operational framework to address the functioning of Gironde estuary wetlands.

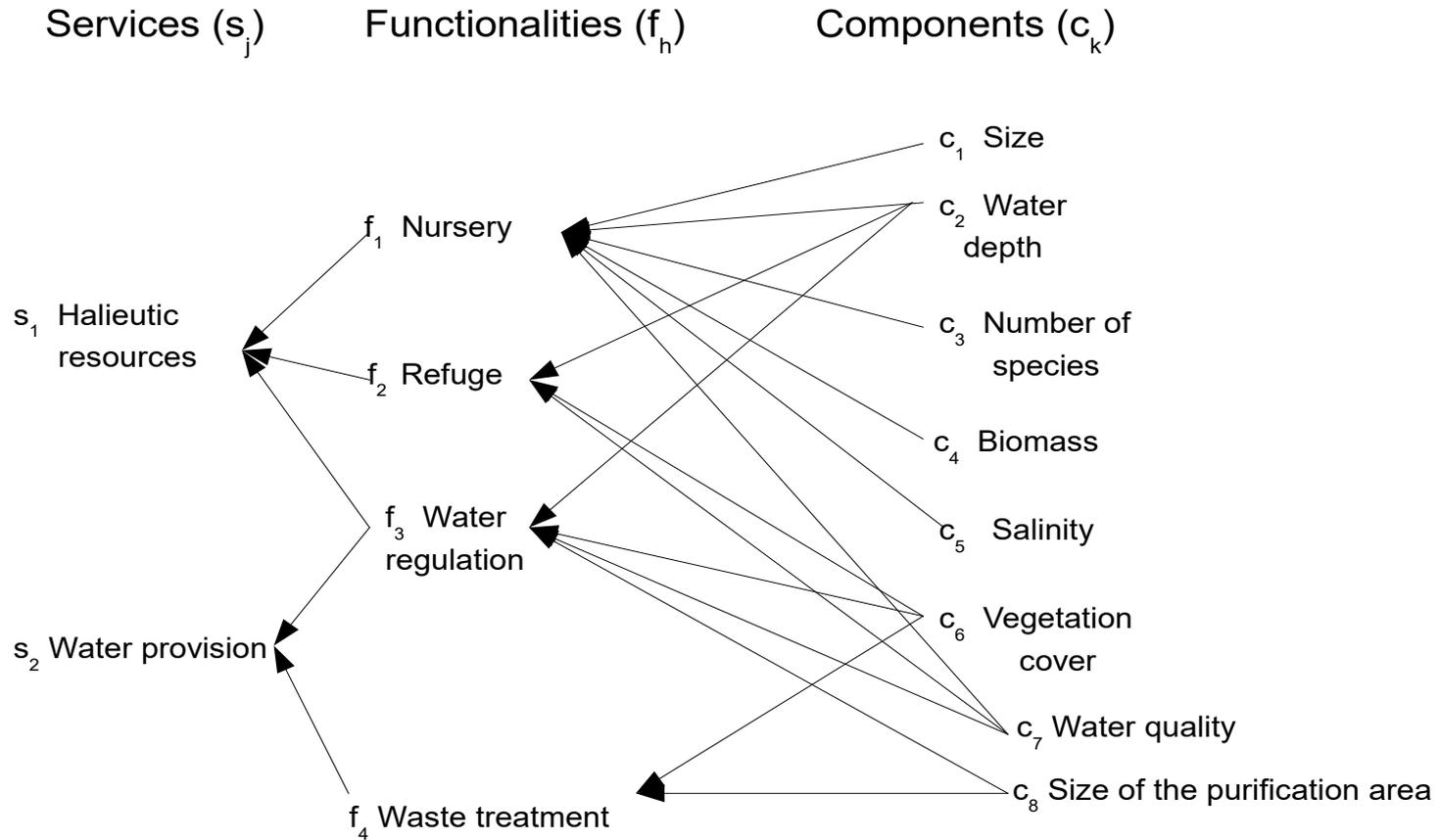


Figure 4

- Sur la base du cadre proposé, notre approche vise à évaluer le potentiel de résilience des zones humides et, par conséquent, la durabilité de la gestion de ces dernières.
- Ces évaluations nécessitent au préalable d'identifier un ensemble de conditions de criticité sur les composantes et les valeurs seuils correspondantes, car la mesure du potentiel de résilience est basée sur le nombre de conditions de criticité à remplir.
- Dans ce qui suit, nous nous concentrons sur le(s) potentiel(s) de résilience conforme(s) à la fourniture d'un seul service. Notre cadre opérationnel conduit à la détermination de 2 ensembles de solutions, en fonction du service considéré.

- Le service 1 a recours à 3 fonctionnalités  $F_1=(f_1, f_2, f_3)$
- Le service 2 nécessite  $F_2=(f_3, f_4)$ .
- En terme de composants requis, l'activation de :
  - $f_1$  implique  $C_1=(c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{14}, c_{15}, c_{17})$ ,
  - $f_2$  implique  $C_2=(c_{22}, c_{26}, c_{27})$ ,
  - $f_3$  implique  $C_3=(c_{32}, c_{36}, c_{37}, c_{38})$ ,
  - $f_4$  implique  $C_4=(c_{46}, c_{48})$ .
- Les valeurs critiques de toutes les composantes ont été déterminées empiriquement (cf. diapo. suivante)
- Puis, on a établi le lien entre la fourniture de services et les conditions de criticité :  $S_1$  repose sur 8 conditions critiques tandis que 4 conditions critiques sont nécessaires pour  $S_2$ .
- Potentiel de résilience: il est défini à partir des deux ensembles de solution pour chaque service fourni.

## Valeurs seuils (T) ou catégories requises (RC) selon les composantes et les fonctionnalités :

	<u>C<sub>h,1</sub></u>	<u>C<sub>h,2</sub></u>	<u>C<sub>h,3</sub></u>	<u>C<sub>h,4</sub></u>	<u>C<sub>h,5</sub></u>	<u>C<sub>h,6</sub></u>	<u>C<sub>h,7</sub></u>	<u>C<sub>h,8</sub></u>
<i>f<sub>1</sub></i>	(T) : 1 km <sup>2</sup>	(T): 50%	(RC): 64 ind/m <sup>2</sup>	(T): 27000 ind/m <sup>2</sup>	(RC): mesohaline		(RC): [89 <sub>surface</sub> ,204 <sub>depth</sub> ] or [292 <sub>surface</sub> ,835 <sub>depth</sub> ]	
<i>f<sub>2</sub></i>		(T): 50%				(RC): humid grasslands, tall herbs or humid grassland, short grass	(RC) : [292 <sub>surface</sub> ,835 <sub>depth</sub> ] or [398 <sub>surface</sub> ,1151 <sub>depth</sub> ]	
<i>f<sub>3</sub></i>		(T): 50%				(RC): humid grasslands, tall herbs or humid grassland, short grass or field crops, horticulture	(RC) : [89 <sub>surface</sub> ,204 <sub>depth</sub> ] or [292 <sub>surface</sub> ,835 <sub>depth</sub> ]	(T): 98%
<i>f<sub>4</sub></i>						(RC): humid grasslands, tall herbs or humid grassland, short grass or Forest		(T): 98%

Note: index h refers to the functionality. The gray area indicates a no relevant case (the component is not involved in the activation of the functionality).

## Quelques résultats :

- Service S2 (Provision en eau) : c'est le service dont la fourniture nécessite moins de composantes naturelles.

Le potentiel de résilience pour le service d'approvisionnement en eau (S2) est satisfait par 16 zones humides représentant 37% de la surface totale couverte par l'échantillon.

Ce qui signifie que les écosystèmes inclus sont capables de soutenir conjointement les fonctionnalités de régulation hydrique (f3) et de capacité d'épuration (traitements déchets) (f4).

- Service S1 (Ressources halieutiques):

Le potentiel de résilience pour S1 est satisfait par 8 ZH (soit 13% de la surface totale) qui peuvent assurer conjointement les 2 fonctionnalités nurserie (f1) et refuge (f2).

- La fourniture conjointe des deux services: S1 + S2:  
Seules 8 ZH et un seul type de ZH spécifique dont la végétation est principalement composée de prairies humides, d'herbes hautes.

## **Notion de bouquets de services écosystémiques :**

- Nature multifonctionnelle d'un type de zone humide particulier.
- Idée : plusieurs SE peuvent être identifiés et fournis simultanément par une ZH
- *“a set of associated ecosystem services that are linked to a given ecosystem and that usually appear together repeatedly in time and/or space” (García-Nieto A.P., 2013)*

## 5. Perspectives : propriétés des services et demande sociétale

Intérêt pour le décideur : garantir l'accès à un ou plusieurs services écosystémiques à la collectivité.

Ce qui implique d'étudier les propriétés des services rendus par les zones humides à l'échelle du socio-écosystème.

- Services indépendants :

Soit  $S1$  et  $S2$  et  $S1 \neq S2$

Indépendance si et seulement si aucune fonctionnalité n'est commune aux 2 services.

Pour fournir  $(S1+S2)$ , les fonctionnalités de chaque service doivent être activées indépendamment les unes des autres.

Pour fournir  $S1$  ou  $S2$ , on choisit l'activation des fonctionnalités en jeu pour  $S1$  ou pour  $S2$ .

- Services dépendants (ou complémentaires):

Il existe au moins une fonctionnalité commune à 2 services distincts.

→ Complémentarité fonctionnelle

→ Condition nécessaire mais non suffisante pour assurer la production des 2 services conjointement.

- Contiguïté des ZH :

Soit 2 ZH contigües fournissant S1 et S2.

Condition : existence d'au moins une frontière commune aux 2 ZH considérées.

Hypothèse : Indépendance des services procurés dans chaque ZH.

Intérêt : diffuser un niveau de service donné S sur un territoire plus grand.

- Enveloppe des ZH :

L'approche fonctionnelle des ZH détermine les conditions écologiques du maintien des fonctionnalités et par conséquent des services associés.

A partir de ces conditions, il est possible de définir une enveloppe des ZH.

Idée : à partir du potentiel de résilience écologique, on va définir une enveloppe des ZH qui assure une continuité écologique - au niveau des fonctionnalités en jeu -.

La détermination de l'enveloppe implique de vérifier les 2 conditions suivantes :

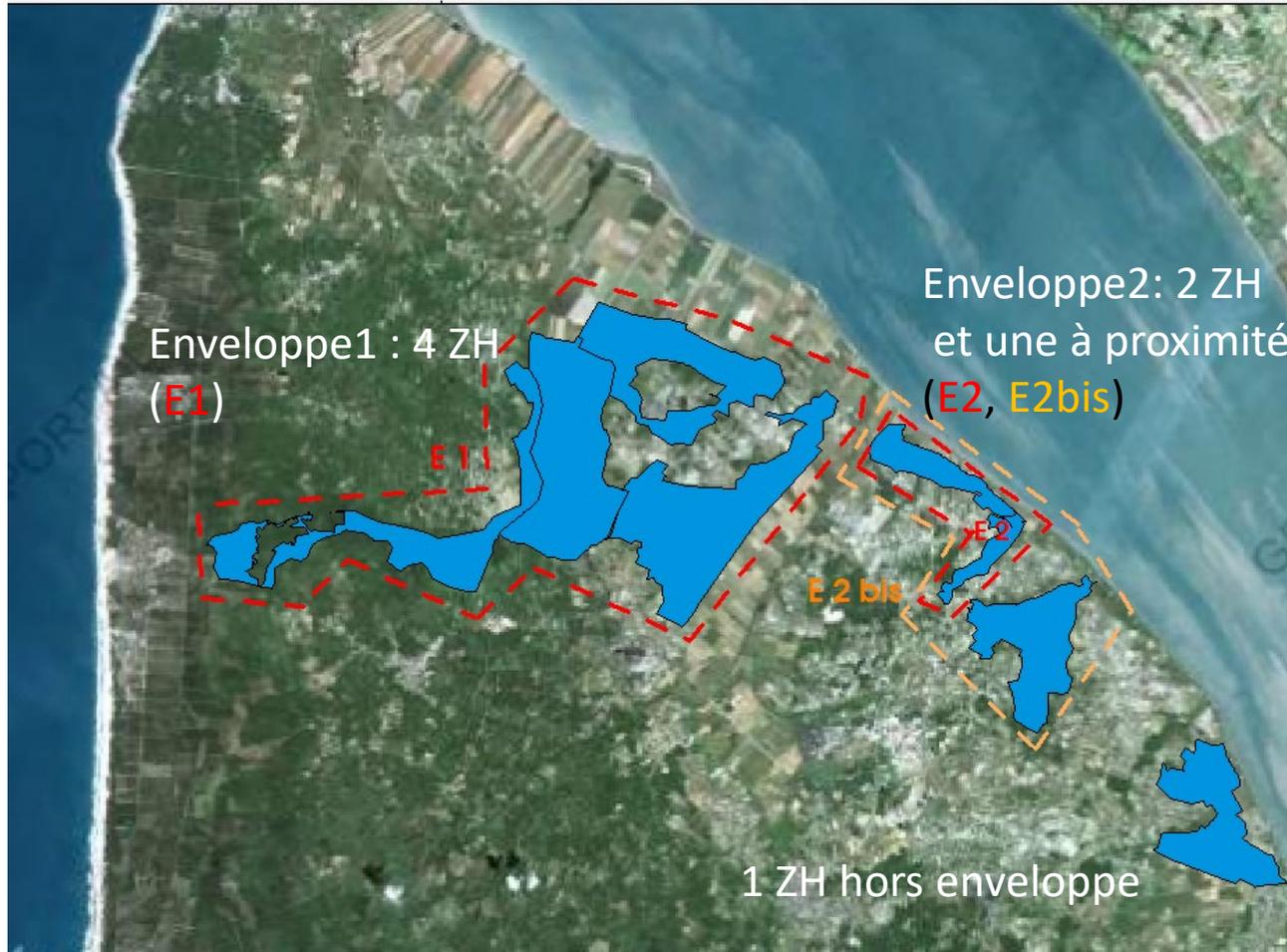
- Activation d'une ou plusieurs fonctionnalités sur plusieurs ZH ;
- Propriété de contiguïté vérifiée pour les ZH considérées ;

Cas où la condition 2 n'est pas vérifiée : par exemple, cas de proximité/contiguïté des ZH.

Intérêt : assurer un niveau de service souhaité par la collectivité en vérifiant un plus grand nombre de conditions de criticité satisfaites ( $\text{Card}(C_k > \underline{C}_k)$ ).

# Détermination des contiguïtés pour le service S1 (ressources halieutiques)

Au total 8 ZH concernées:



Imaginons qu'il faut garantir un ou plusieurs services S à la collectivité :

- Recenser les enveloppes et identifier celles qui doivent être préservées ;
- Etudier dans quelle mesure les services peuvent être délivrés pour la collectivité.

Illustrations :

- Cas 1 : S1 et F4
- Cas 2 : S2 et F1

Cas n° 1: S1  
(ressources  
halieutiques) et F4  
(épuration)



Nom ASP	F1	F2	F3	F4
ASA des marais de la Plaine et Queyzans	Green	Green	Green	Green
ASA des marais de la Maréchale	White	White	Orange	Green

ASA : Association Syndicale Autorisée

 S1 et S2 délivrés  
 S2 difficile

**L'activation de F3 (provision eau) pour délivrer S2 implique de remplir 4 conditions de criticité**

	C2: % de submersion	C6: couverture végétale	C7: concentration MES	C8: potentiel d'épuration
ASA de la Maréchale	28% <i>Dépolderisation ?</i>	Formations herbacées humides	[292-835]	100%
Valeurs Seuil	50%	Formations herbacées humides ou terres agricoles	[89-204] ou [292-835]	98%

Cas n°2: S2 (provision en eau - bleu) et F3 (régulation - jaune)



Nom ASP	F1	F2	F3	F4
ASA des marais de Bardecille				
ASA des marais de Talmont				

➔ S2 délivré

➔ S2 rapidement délivrable

L'activation de F4 (épuration) pour délivrer S2 implique de remplir 2 conditions de criticité

	C6: couverture végétale	C8: potentiel d'épuration
ASA de Talmont	↓ Terres agricoles affectation des sols	100% ↓
Valeurs Seuil	↓ Formations herbacées humides, forêts	98%

## Éléments de conclusion

A l'aide des propriétés des services écosystémiques, il est possible de

- comparer les ZH entre elles pour un niveau de service donné ;
- choisir celles qui pourront satisfaire un ou plusieurs services ;
- choisir parmi les ZH du socio-écosystème celles qui offrent le niveau de service le plus grand pour la collectivité à partir de la création d'enveloppe ;
- arbitrer entre des ZH situées à proximité d'une enveloppe: enjeux liés à la dépoldérisation pour garantir par exemple la maîtrise du risque d'inondation dans des espaces très exposés.

- Ces résultats suggèrent que la conception des politiques publiques pourrait être différente en fonction de l'ensemble de services à satisfaire.
- Tout dépend des relations qui existent entre les fonctionnalités en jeu (propriétés substitution/complémentarité).



**Merci de votre attention!**