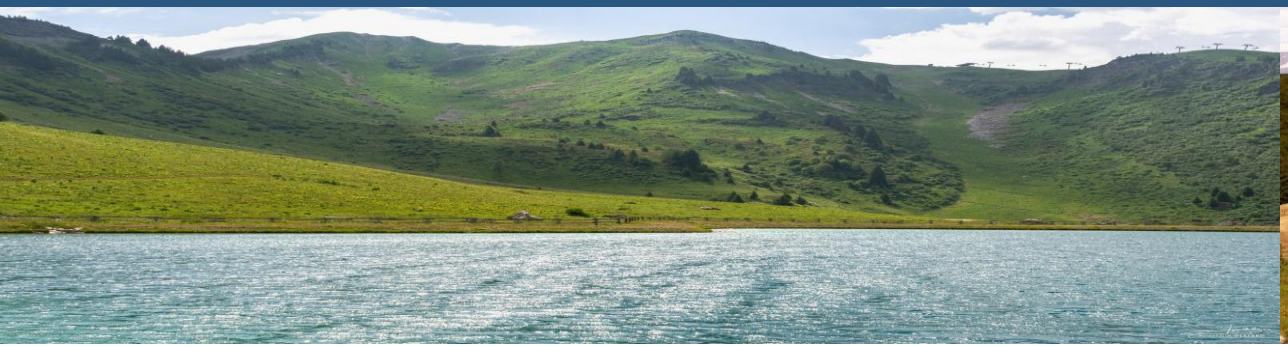
Conférence finale / Conferenza finale — Aoste, 04.11.2026

# WP4.1 Intégration environnementale des retenues

*WP4.1 Integrazione ambientale dei bacini*





**Florent ARTHAUD — USMB / Samuel WESTRELIN — INRAE**

20 min min + discussion / 20 min + discussione

Interreg
Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea
France – Italia ALCOTRA

BECCA

Région Autonome Vallée d'Aoste
Regione Autonoma Valle d'Aosta

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

INRAE

1859 Politecnico di Torino

UNIVERSITÉ SAVOIE MONT BLANC

REGIONE PIEMONTE

# Pourquoi intégrer la biodiversité

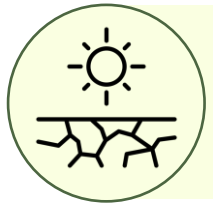
*Perché integrare la biodiversità ?*

**Parce que la biodiversité d'eau douce est en déclin**
***Perché la biodiversità delle acque dolci è in declino***



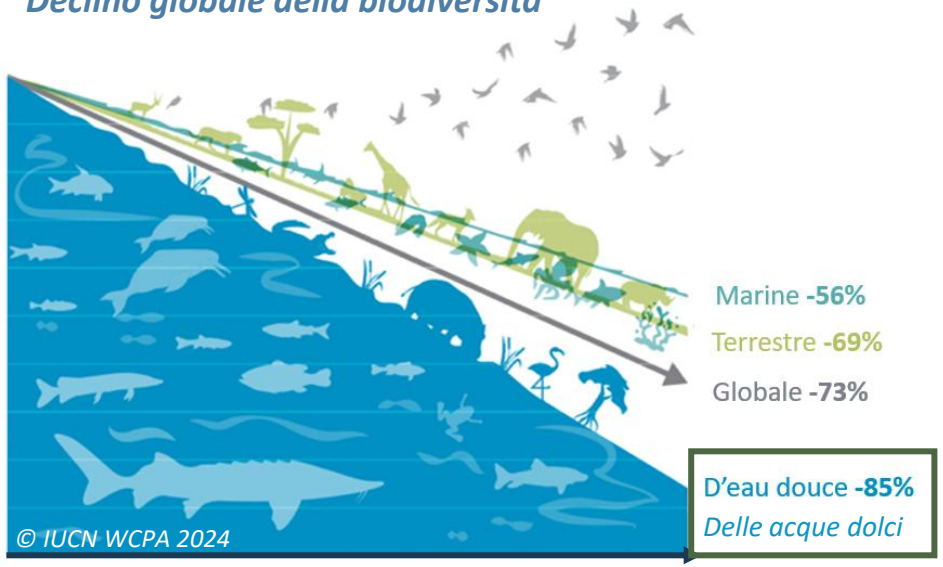
**Changement d'usages des sols /**
***Cambiamento della destinazione d'uso dei terreni***

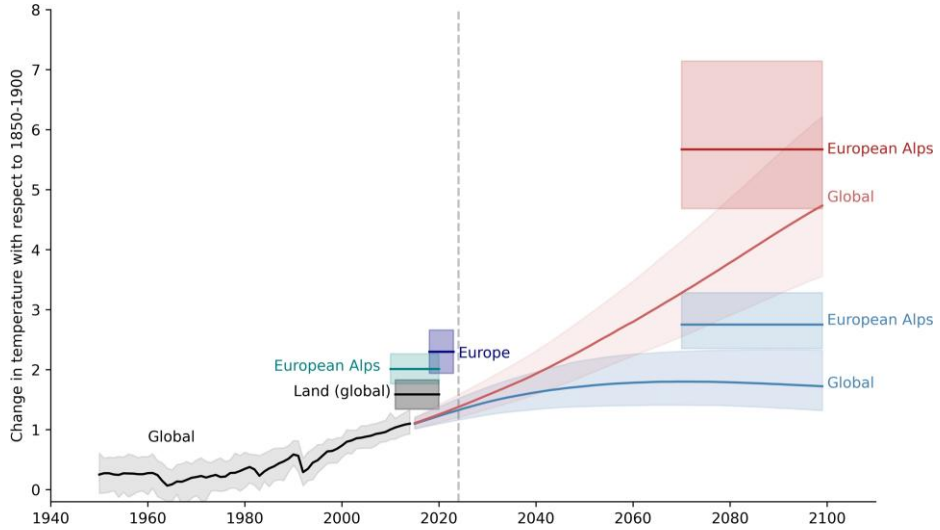




**Dérèglement climatique /**
***Cambiamenti climatici***

**Déclin global de la biodiversité /**
***Declino globale della biodiversità***



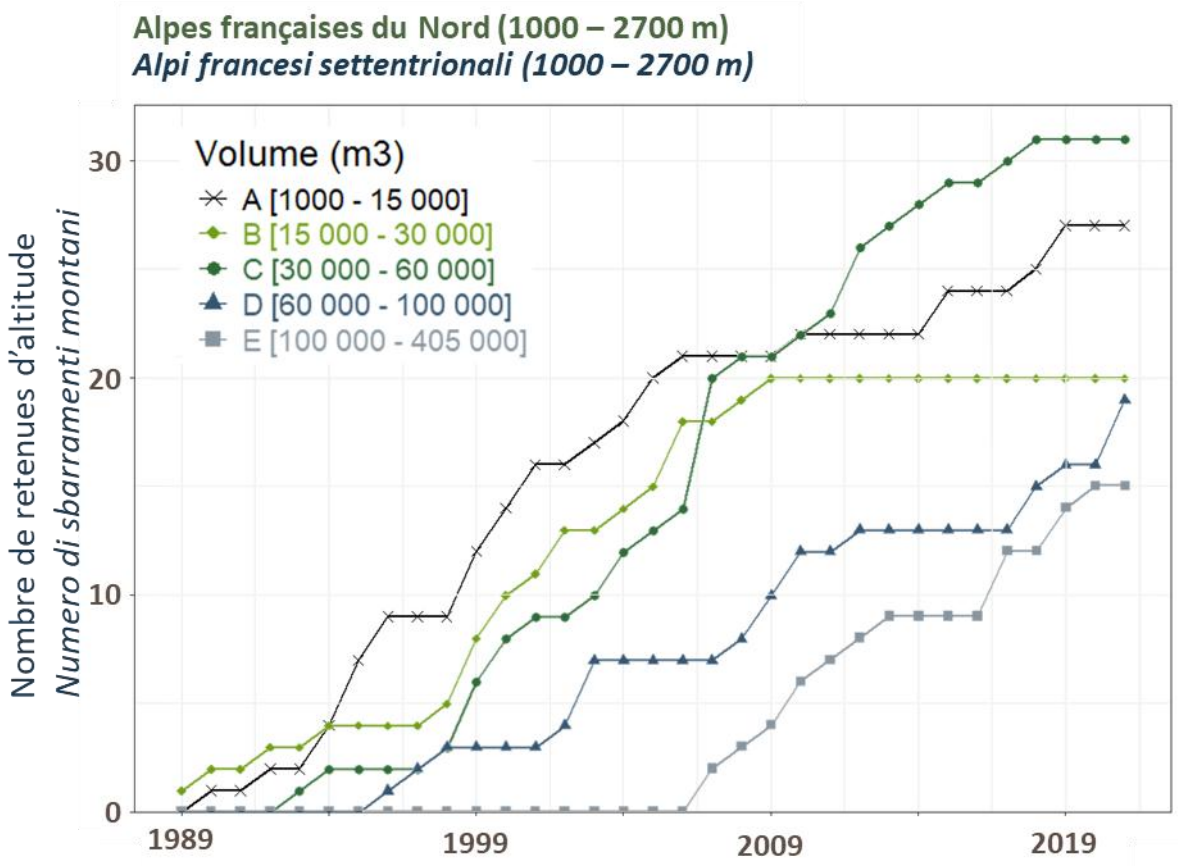

**Scenario climatique plus chaud dans les alpes/**

Uno scenario climatico più caldo nelle Alpi

# Pourquoi intégrer la biodiversité

*Perché integrare la biodiversità ?*

**Parce que ces retenues sont nombreuses**
***Poiché questi sbarramenti sono numerosi***




**n = 136 retenues** — **7,3 millions de m³ d'eau stockée**
***n = 136 sbarramenti*** — ***7,3 milioni di m³ di acqua immagazzinata***

**Augmentation du nombre de retenues d'altitude**
***Aumento del numero di sbarramenti montani***

Retenues d'altitude = 5% des plan d'eau des Alpes du Nord
*Sbarramenti montani = Il 5% dei corpi d'acqua delle Alpi del Nord*

**Augmentation de leur taille / capacité**
***Aumento delle dimensioni / della capacità***

Depuis 2006 : **+++ C / D / E**
*Dal 2006 :* **+ A / B**

**Proximité d'autres habitats aquatiques** / ***Vicinanza ad altri habitat acquatici***

99% < 2km d'un cours d'eau / *Il 99% si trova a meno di 2 km da un corso d'acqua*

73% < 2km d'un plan d'eau / *Il 73% si trova a meno di 2 km da uno specchio d'acqua*

**Bien représentées dans le paysage & accessibles**
***Ben rappresentate nel panorama e accessibili***



surface artificielle / ***superficie artificiale***
surface naturelle / ***superficie naturale***

**Pression sur la biodiversité d'eau douce /**
***Pressione sulla biodiversità delle acque dolci***



# Pourquoi intégrer la biodiversité

*Perché integrare la biodiversità ?*

**Parce que la biodiversité est déjà présente mais en danger**

***Perché la biodiversità esiste già, ma è in pericolo***

**Inventaire de la faune dans 28 retenues d'altitude**

***Censimento della fauna in 28 sbarramenti montani***

**Biodiversité faible**

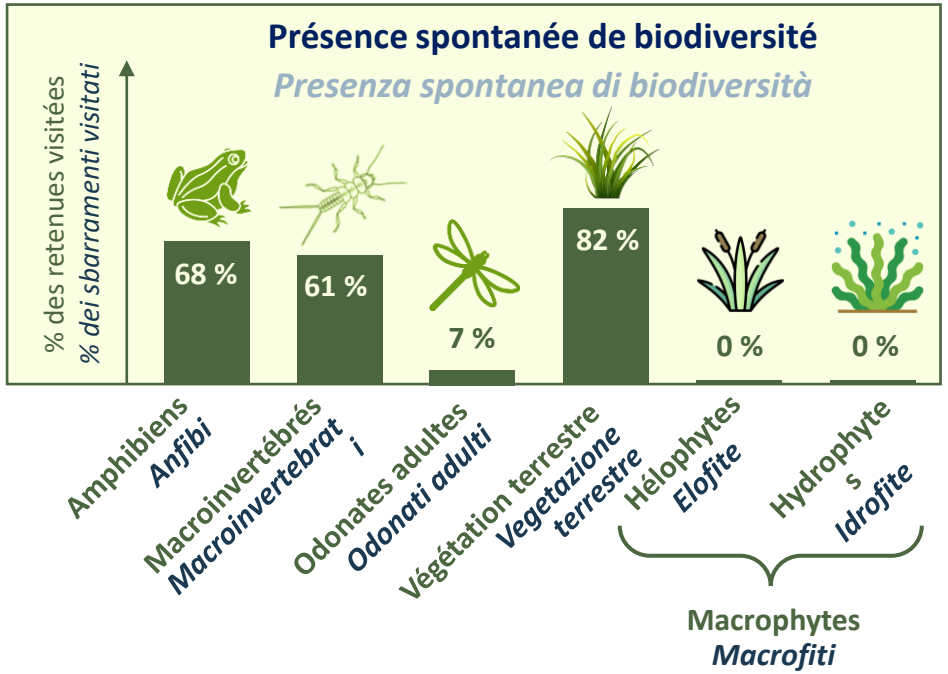
***Bassa biodiversità***

**Mortalité animale dans > 20% des retenues visitées**

***Mortalità animale in oltre il 20% degli sbarramenti visitati***

**Absence de macrophytes**

***Assenza di macrofiti***





© Benjamin Gerfand

**Triton grillé**

***Tritone alla griglia***


© Benjamin Gerfand

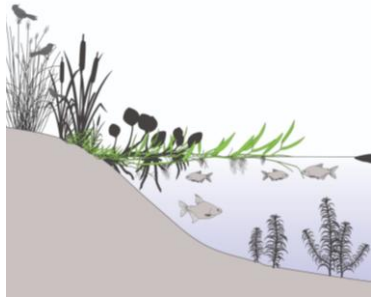
**Crapaud noyé**

***Rospone annegato***


© Etienne Boncourt

**Ponte échouée**

***Uova di rana arenate***



**Retenues utilisées par la faune**

***Sbarramenti utilizzati dalla fauna***

**Colonisation du confinement par la flore terrestre**

***Colonizzazione dello confinamento da parte della flora terrestre***

**Transition aquatique & terrestre**

***Transizione acquatica e terrestre***

**Ressources alimentaires**

***Risorse alimentari***

**Abri & refuge**

***Riparo e rifugio***

# Objectifs

*Obiettivi*

- **Fournir des outils limitant les contraintes à l'intégration de la biodiversité**

*/ fornire strumenti che limitino gli ostacoli all'integrazione della biodiversità*

- **Fournir des outils permettant d'intégrer la biodiversité dans les retenues existantes** / Fornire strumenti che consentano di integrare la biodiversità nei bacini idrici esistenti

- **Démarche : expérimentations sur le domaine des Arcs puis formulation de préconisations transnationales** / *Procedura: sperimentazioni nella zona degli Arcs e successiva formulazione di raccomandazioni transnazionali*

- **Livrables** / *Risultati attesi:*

**Chapitre 3.7 : Intégration environnementale des retenues** / *Capitolo 3.7: Integrazione ambientale dei bacini*

**6 fiches techniques pour une meilleure intégration environnementale des retenues d'altitude existantes** / *6 schede tecniche per una migliore integrazione ambientale dei bacini di raccolta in quota esistenti*

**Mini-guide pour les gestionnaires sur les retenues en interaction avec la végétation et les radeaux flottants** / *Mini-guida per i gestori sulle ritenute in relazione alla vegetazione e alle zattere galleggianti*

# Contraintes à l'intégration de la biodiversité

*Ostacoli all'integrazione della biodiversità*

**La présence de biodiversité doit être compatible avec la sécurité des ouvrages**
***La presenza di biodiversità deve essere compatibile con la sicurezza delle dighe***

**Très peu d'études sur le sujet**
***Esistono pochissimi studi sull'argomento***

- Souvent en faveur de l'absence de risque
  *Spesso a favore dell'assenza di rischio*

  *Cherifi & Bouregaa 2017 ; Newaman et al. 2004*
- Mais quelques contre-exemples
  *Ma alcuni controesempi*


© Savoye et al. 2006

**Filtre planté de roseaux / *Filtro con canne***

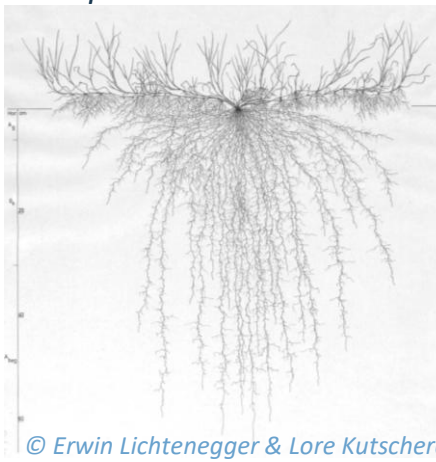
**Entre un rhizome et une géomembrane EPDM / *Tra un rizoma e una geomembrana in EPDM***

**Interactions plantes – géomembranes**
***Interazioni tra piante e geomembrane***


© Benjamin Gerfand

**De quoi dépend cette interaction ?**
***Da cosa dipende questa interazione?***

Des capacités de pénétration des systèmes souterrains / *Capacità di penetrazione nei sistemi sotterranei*


© Erwin Lichtenegger & Lore Kutscher

**Alors quel risque pour les retenues d'altitude ?**

***Allora, quale rischio comportano le sbarramenti montani?***


© Benjamin Gerfand

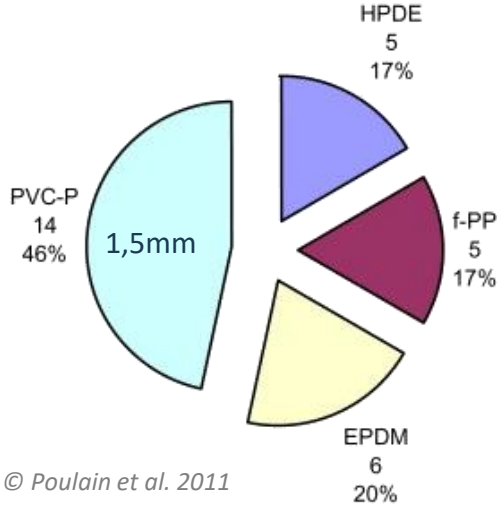
De la résistance de la géomembrane / *La resistenza della geomembrana*

# Contraintes à l'intégration de la biodiversité

*Ostacoli all'integrazione della biodiversità*

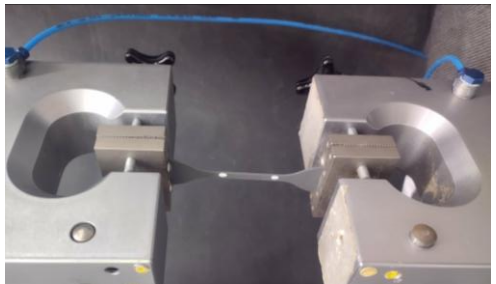
**La présence de biodiversité doit être compatible avec la sécurité des ouvrages**
***La presenza di biodiversità deve essere compatibile con la sicurezza delle dighe***

**Géomembrane la plus utilisée**
***La geomembrana più utilizzata***




*© Poulain et al. 2011*

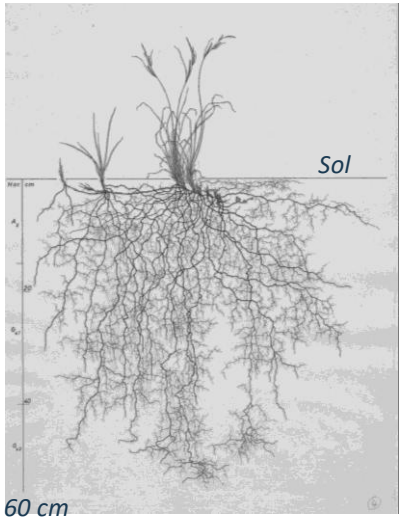
**Tests de résistance des matériaux**
***Prove di resistenza dei materiali***



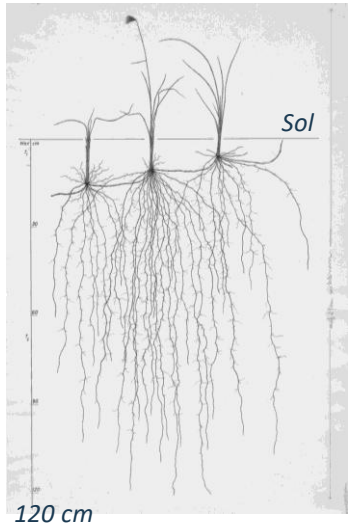
**3 espèces hélophytes**
***3 specie elofite***

Gradient d'agressivité souterraine / *Gradiente di aggressività sotterranea*

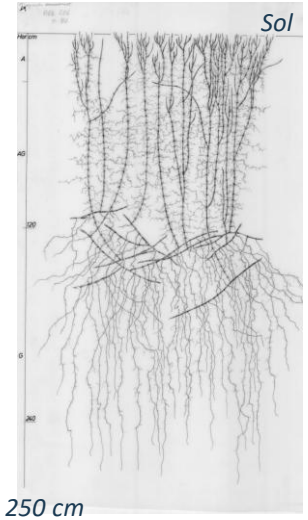
*Carex nigra*




*Eriophorum angustifolium*




***Phragmites australis***




*© Erwin Lichtenegger & Lore Kutschera*

**10 mois de croissance**
***10 mesi di crescita***



Géomembrane
*Geomembrana*

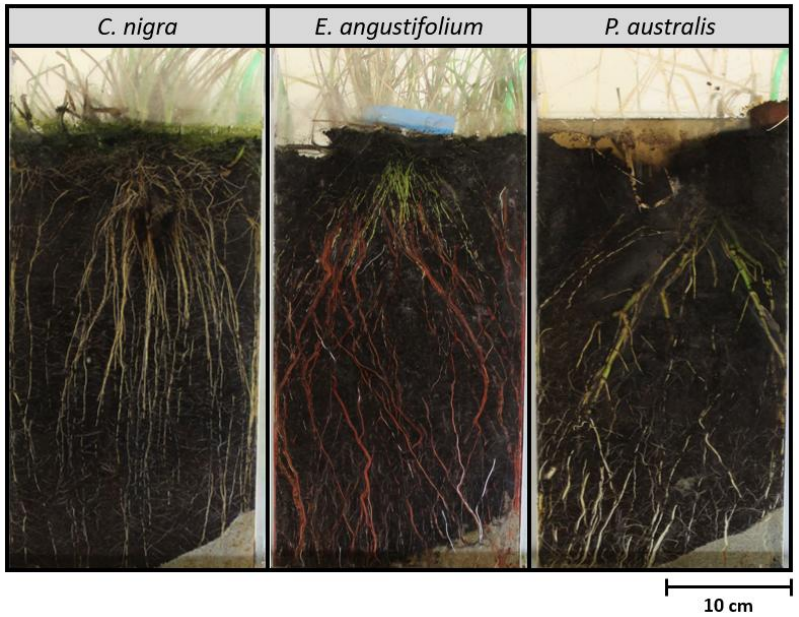
*© Benjamin Gerfand*

**Est-ce que la présence d'hélophytes compromet la résistance des géomembranes ?**
***La presenza di elofite compromette la resistenza delle geomembrane?***

# Contraintes à l'intégration de la biodiversité

*Ostacoli all'integrazione della biodiversità*

**La présence de biodiversité doit être compatible avec la sécurité des ouvrages**
***La presenza di biodiversità deve essere compatibile con la sicurezza delle dighe***




**Aucune différence de résistance entre les géomembranes qui ont vieilli avec ou sans plantes**
***Non si riscontrano differenze di resistenza tra le geomembrane che hanno subito un processo di invecchiamento con o senza piante***

**Même pour le roseau qui ne pousse pas à de telles altitudes**
***Anche per la canna che non cresce a tali altitudini***

**Expérience menée en conditions de plaine = conditions favorables à la croissance souterraine**
***Esperimento condotto in condizioni di pianura = condizioni favorevoli alla crescita sotterranea***

*Körner 2003 ; Klimeš 2000*



**Les systèmes souterrains longent la géomembrane sans la perforer**
***I sistemi sotterranei corrono lungo la geomembrana senza perforarla***

**Pas de risque en présence d'hélophytes**
***Nessun rischio in presenza di elofiti***

**Pas de risque en présence de plantes herbacées de montagne**
***Nessun rischio in presenza di piante erbacee di montagna***

**Durée de l'expérience courte**
***Esperienza di breve durata***

**Effets cumulés *in-situ* ?**
***Effetti cumulativi in situ?***

*Stoltz et al. 2025 ; Zhang et al. 2025a ; Zhang et al. 2025b ; Newman et al. 2004*

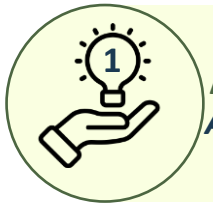
# Comment intégrer la biodiversité dans les retenues existantes ?

*Come integrare la biodiversità nei sbarramenti esistenti ?*

Interreg France – Italia ALCOTRA

BECCA

**En adaptant les pratiques de gestion, de conception et les usages**
***Adattando le pratiche di gestione, progettazione e utilizzo***




**Adapter les pratiques de gestion / usages à court terme**
***Adattare le pratiche di gestione / gli usi a breve termine***



**Adapter le remplissage aux périodes de reproduction**

***Adattare il rifornimento ai periodi di riproduzione***



**Maintenir un niveau d'eau minimum**

***Mantenere un livello minimo dell'acqua***



**Ne plus supprimer la végétation herbacée**

***Non rimuovere più la vegetazione erbacea***



**Interdire l'introduction d'espèces exogènes**

***Vietare l'introduzione di specie esotiche***




**Améliorer les ouvrages existants à plus long terme**
***Migliorare i sbarramenti esistenti in una prospettiva a più lungo termine***

**Utiliser une géomembrane de couleur claire si confinement impossible**

***Se non è possibile aggiungere un confinamento, utilizzare una geomembrana di colore chiaro***

**Confiner les berges non confinées**

***Aggiungere un confinamento sulle sponde non soggette a confinamento***

**Végétaliser les retenues d'altitude !**

***Rendere più verdi i sbarramenti montani!***



**Quand le contexte paysager le suggère**

***Quando il contesto paesaggistico lo suggerisce***

# Retenue et plans d’eau alentours

*Bacino di ritenuta e specchi d’acqua circostanti*

**Malgré l’environnement anthropisé d’une station de ski, la retenue s’intègre dans une mosaïque de zones humides, dont certaines, naturelles, encore bien préservées.** */ Nonostante il contesto antropizzato di una stazione sciistica, il bacino si inserisce in un mosaico di zone umide, alcune delle quali naturali e ancora ben conservate.*

**14 plans d’eau naturels dans le bassin versant, tous échantillonnés à l’été 2024**/ *14 corpi idrici naturali nel bacino idrografico, tutti campionati nell’estate 2024*

**Retenue de l’Adret des Tuffes (406 000 m³) la plus grande d’Europe. Suivie depuis l’automne 2023** / *Bacino di ritenzione dell’Adret des Tuffes (406.000 m³), il più grande d’Europa. Monitorato dall’autunno 2023.*







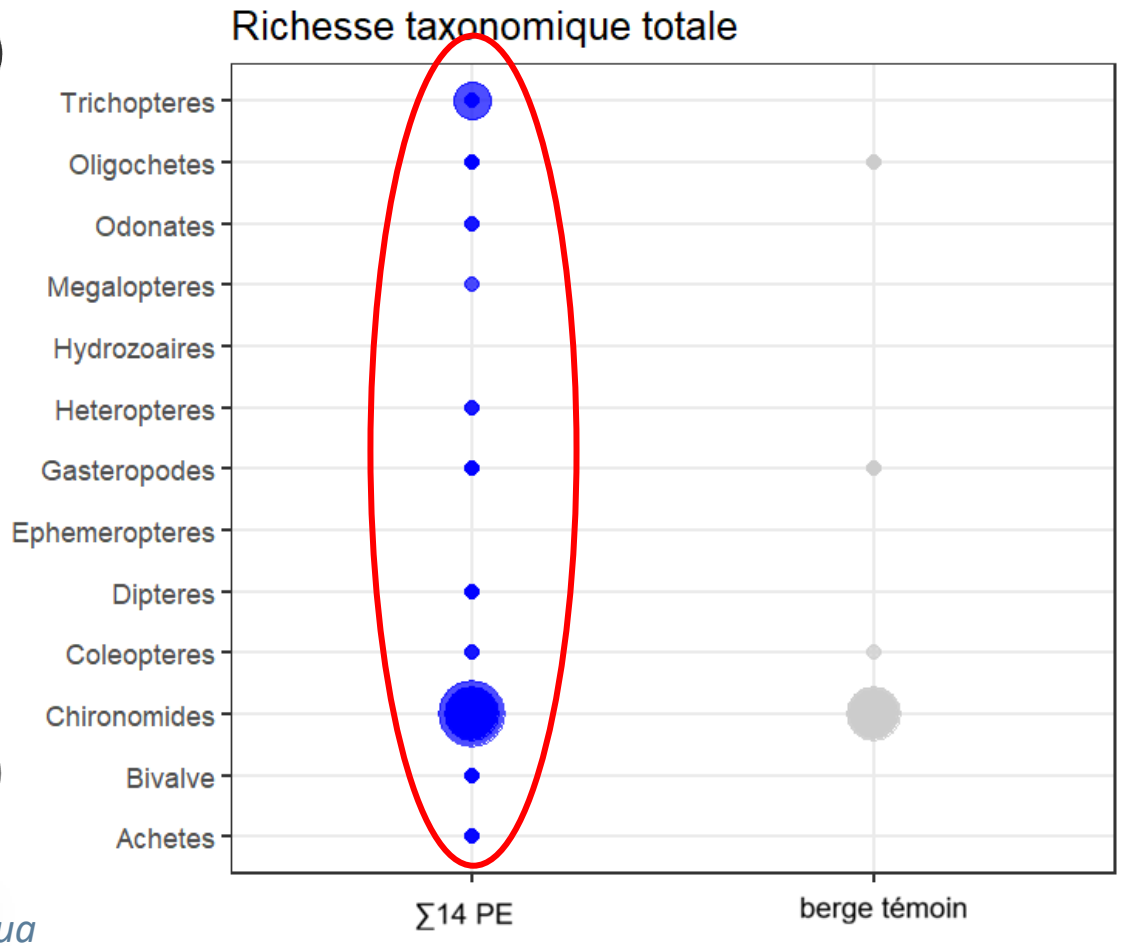
# Retenue et plans d’eau alentours

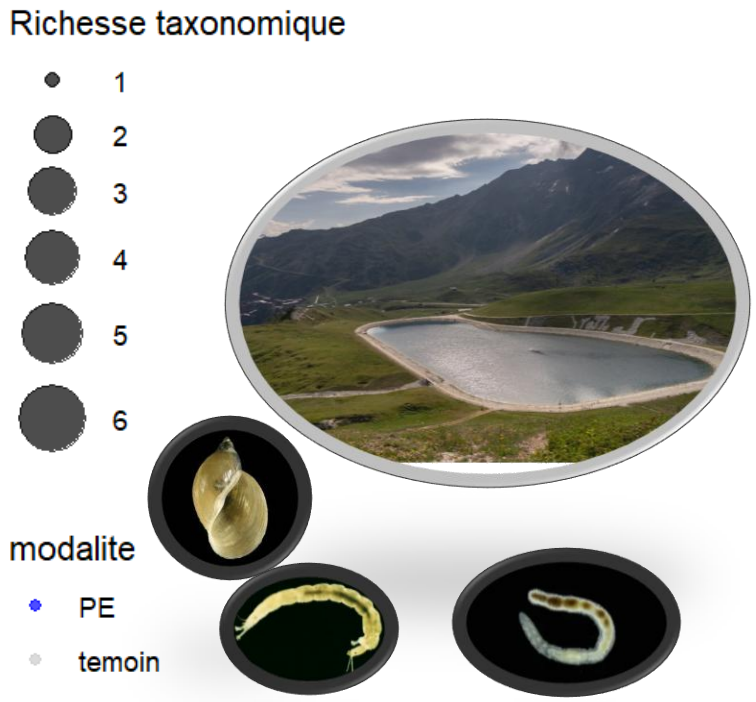
*Bacino di ritenuta e specchi d’acqua circostanti*

- **Mais la richesse taxonomique totale y est largement plus importante, les plans d’eau naturels étant très divers entre eux.**

*Tuttavia, la ricchezza tassonomica vi è decisamente maggiore, essendo i corpi idrici naturali molto diversi tra loro.*






- **Plans d’eau** / *Corpi d'acqua*
- **Retenue** / *Serbatoio*

# Végétaliser la retenue pour accueillir la biodiversité

*Inverdire il bacino per accogliere la biodiversità*

- **Les mêmes espèces sont plantées sur le radeau et dans les fascines, et les mêmes techniques utilisées pour échantillonner les invertébrés.** / *Serbatoio Sulla zattera e nelle fascine vengono piantate le stesse specie, e per campionare gli invertebrati si utilizzano le medesime tecniche.*



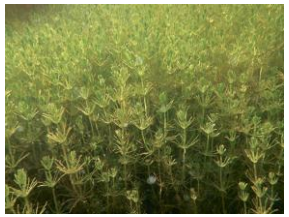


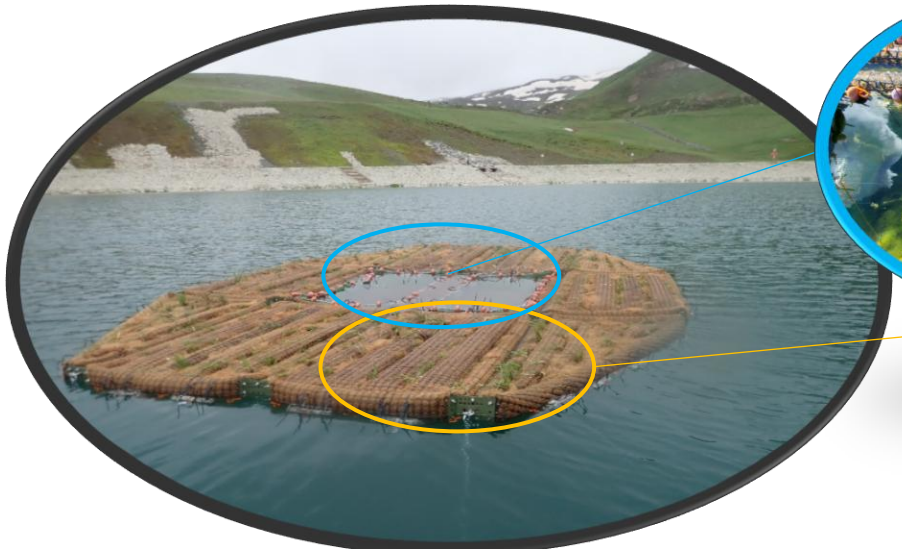
- **Hydrophytes** / *Idrofites*

*Chara globularis*



*Chara vulgaris*







- **Hélophytes** / *Elofites*

*Carex nigra*




*Eriophorum angustifolium*



# Evolution de la végétation

*Evoluzione della vegetazione*

Interreg France – Italia ALCOTRA
Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea
BECCA



**Hélophytes**
***Elofite***



**Fascines**
*Fascine*




**Bonne survie des deux espèces après 3 ans**
*Buona sopravvivenza di entrambe le specie dopo 3 anni*

**> 97%**

**Hydrophytes**
***Idrofite***



**Adaptées aux conditions estivales mais très faible survie des Characées à l'assèchement/gel**
*Ideali per le condizioni estive*
*Bassissima sopravvivenza delle Caracee in condizioni di prosciugamento/gelo*

**Nécessité de poursuivre des tests de culture**
*Necessità di proseguire i test colturali*



**Radeau**
*Zattera*





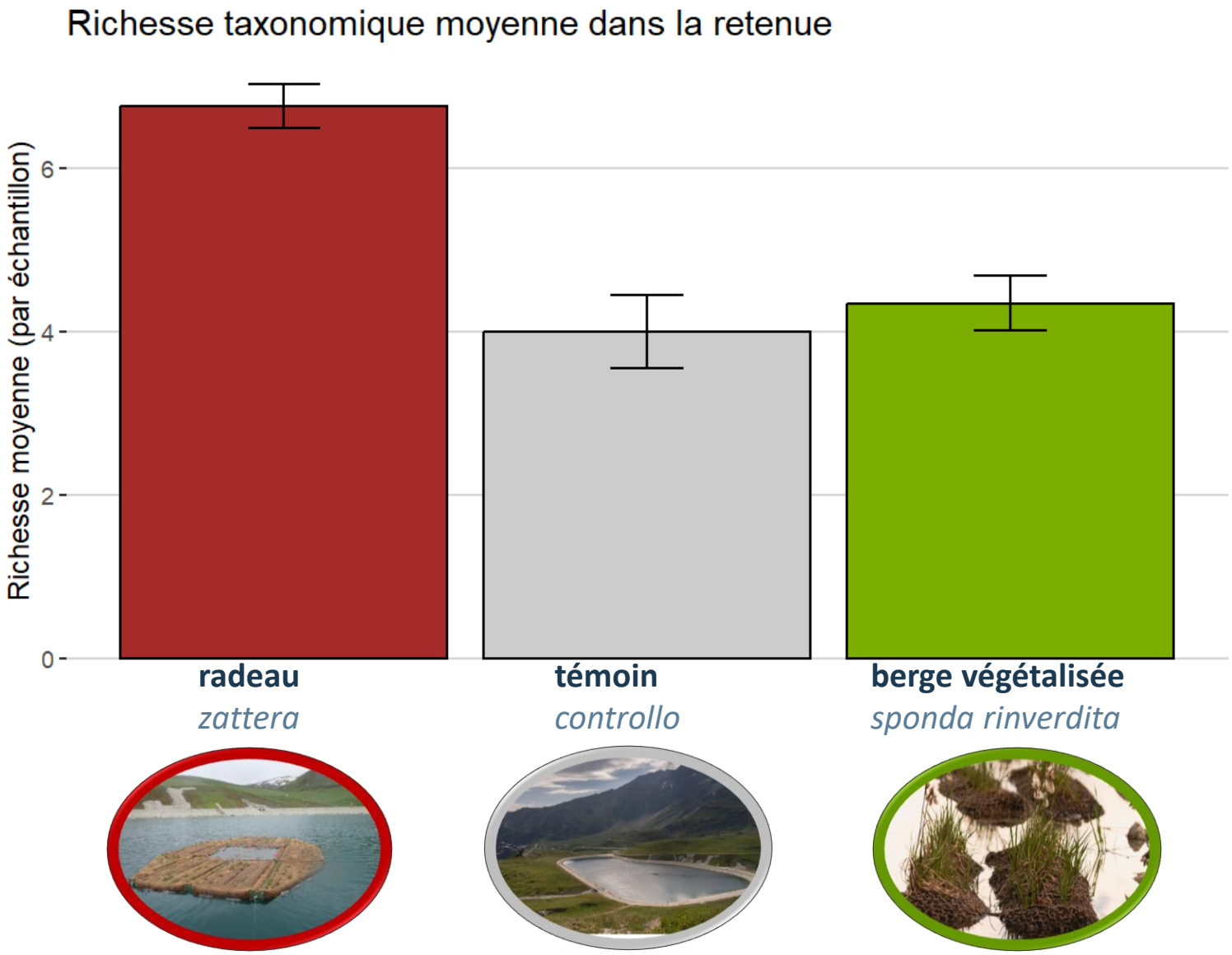
- **Sur le radeau, elle s'est bien maintenue et se développe plus lentement. Le système racinaire en revanche s'est abondamment développé.**

*Sulla zattera, i due tipi di vegetazione si mantengono, ma si sviluppano lentamente. L'apparato radicale, invece, si è sviluppato in modo abbondante.*

# Colonisation de la retenue par les macroinvertébrés

*Colonizzazione dell'invaso da parte dei macroinvertebrati*

- **La richesse taxonomique en berge végétalisée est similaire à la zone témoin ; elle est plus forte sur le radeau.** *La ricchezza tassonomica sulla sponda rinverdita è simile a quella della zona di controllo; risulta maggiore sulla zattera.*

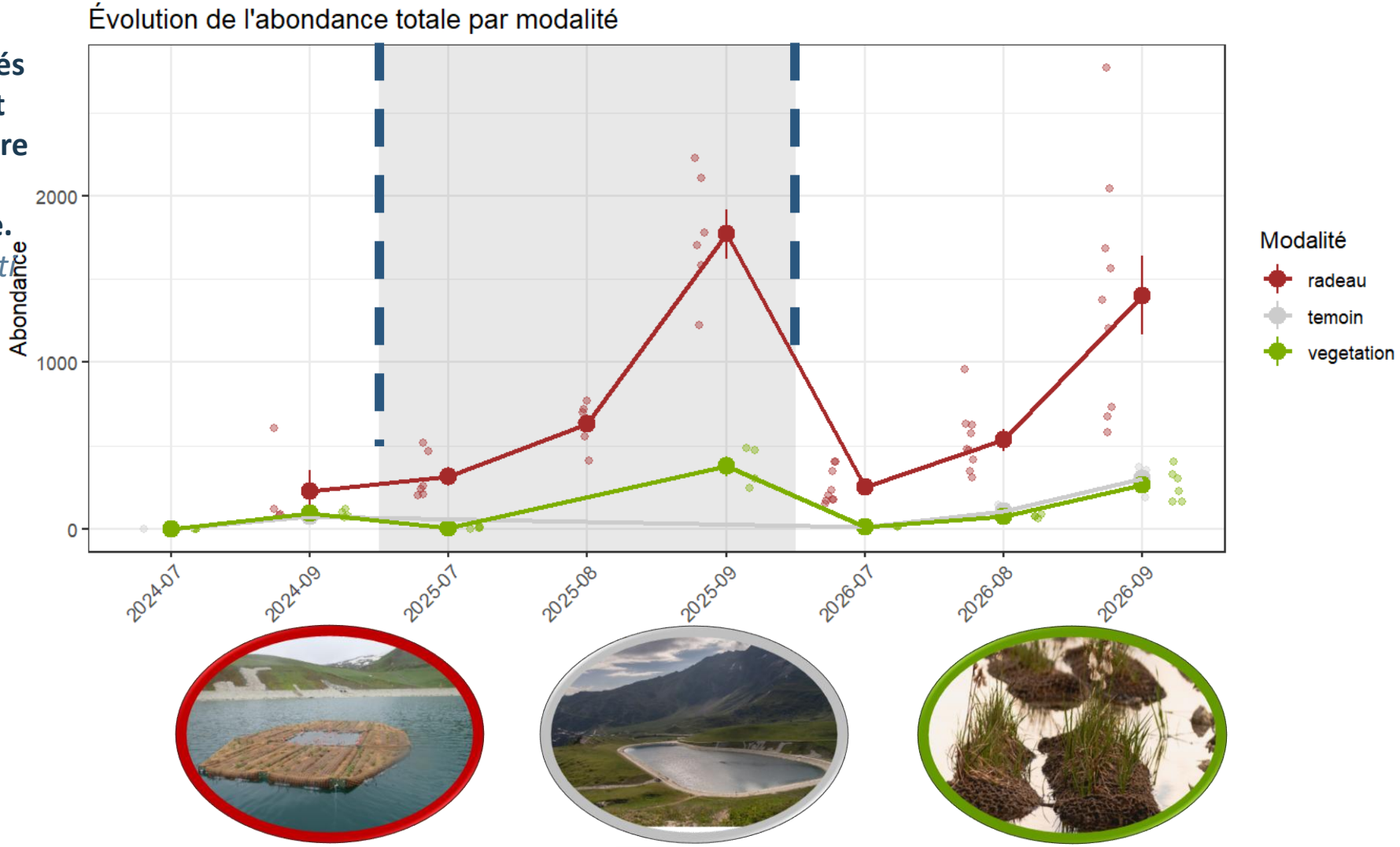


# Colonisation de la retenue par les macroinvertébrés

*Colonizzazione dell'invaso da parte dei macroinvertebrati*

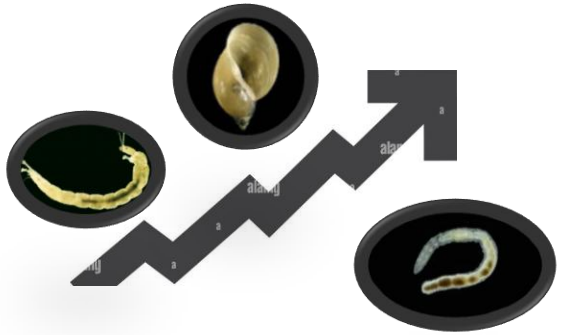
- **L'abondance des macroinvertébrés est très variable selon l'avancement dans l'été. En fin d'été, elle est quatre à cinq fois plus importante sur le radeau que les berges de la retenue.**
- *L'abbondanza dei macroinvertebrati varia notevolmente a seconda del periodo estivo. Verso la fine dell'estate, essa risulta da quattro a cinque volte superiore sulla zattera rispetto alle sponde del bacino..*

- **Réinitialisation chaque hiver**
- *Reimpostazione ogni inverno*



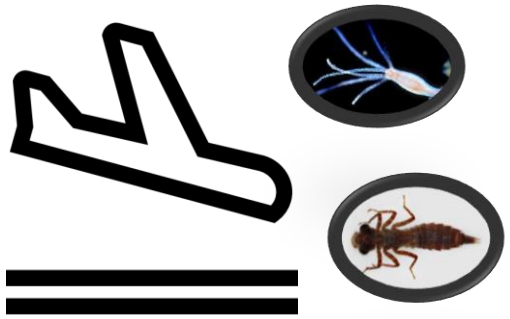
# Conclusion des effets de la végétalisation sur la biodiversité

*Conclusioni sugli effetti della vegetalizzazione sulla biodiversità*



**<u>Abondances augmentées sur le radeau</u>**
*Abbondanze aumentate sulla zattera*

- **Plus grande quantité de matière organique et de sédiments disponibles sur le radeau -> abondances augmentées ?**
  Maggiore quantità di materia organica e sedimenti disponibili sulla zattera -> abbondanze aumentate?



**<u>Taxons ayant uniquement colonisé le radeau</u>**
*Taxon che hanno colonizzato esclusivamente la zattera*

- **Conditions écologiques plus stables ? (notamment résistance au marnage et à la dessication)**
  *Condizioni ecologiche più stabili? (in particolare resistenza alle variazioni del livello dell'acqua e all'essiccamento)*
- **Plus grande surface disponible pour l'installation ?**
  *Maggiore superficie disponibile per l'insediamento?*

## EN RESUME
## *IN SINTESI*

**Le radeau offre de nouveaux habitats <u>stables</u> dans un milieu pauvre**
*La zattera crea nuovi habitat stabili in un ambiente desolato*

**Effet bien moins visible de la végétalisation des berges**
*Effetto molto meno evidente della vegetazione sulle rive*

**Zone refuge pour certaines espèces ?**
*Zona rifugio per determinate specie?*

# Comment intégrer la biodiversité dans les retenues existantes ?

*Come integrare la biodiversità nei sbarramenti esistenti ?*

Interreg France – Italia ALCOTRA

Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea

BECCA

- **Fiches techniques pour une meilleure intégration environnementale des retenues d'altitude existante** / *schede tecniche per una migliore integrazione ambientale dei bacini di raccolta in quota esistenti*

**Fiche 1 : Principes fondamentaux d'intégration environnementale**
**Fiche 2 : Adapter les pratiques de gestion et d'exploitation**
**Fiche 3 : Encadrer les usages secondaires et la fréquentation**
**Fiche 4 : Aménager et adapter les ouvrages existants (modifications structurelles)**
**Fiche 5 : Végétaliser les retenues d'altitude**
**Fiche 6 : Entretien à long terme et cycle de vie des aménagements**

Scheda 1: Principi fondamentali di integrazione ambientale
Scheda 2: Adeguare le pratiche di gestione e di sfruttamento
Scheda 3: Regolamentare gli usi secondari e la frequentazione
Scheda 4: Riqualificare e adeguare le opere esistenti (modifiche strutturali)
Scheda 5: Inverdimento dei bacini di ritenuta in quota
Scheda 6: Manutenzione a lungo termine e ciclo di vita delle opere

- ***Structure commune à chaque fiche :***

1. ***Contexte et enjeux (pourquoi agir ?)***
2. ***Objectifs de l'approche (principes à retenir)***
3. ***Solutions techniques / opérationnelles (leviers d'action)***
4. ***Points de vigilance (contraintes et limites)***

- *Struttura comune a ogni scheda:*

1. *Contesto e sfide (perché agire?)*
2. *Obiettivi dell'approccio (principi da tenere presenti)*
3. *Soluzioni tecniche/operative (leve d'azione)*
4. *Aspetti da tenere in considerazione (vincoli e limiti)*

# Comment intégrer la biodiversité dans les nouvelles retenues ?

*Come integrare la biodiversità nei nuovi sbarramenti esistenti ?*




- **Chap. 3.7 Intégration environnementale des retenues**

  Cap. 3.7 *Integrazione ambientale dei bacini*

- **1.** Rappel des principes « Éviter, Réduire, Compenser »
  *Promemoria dei principi « Evitare, Ridurre, Compensare»*
- **2.** Ne pas concevoir des retenues sur des sites hébergeant des zones humides
  *Non progettare bacini di ritenuta in siti che ospitano zone umide*
- **3.** Eviter la destruction d'habitats naturels
  *Evitare la distruzione degli habitat naturali*
- 4. Prioriser la construction sur des sites déjà artificialisés
  *Dare priorità alla costruzione in siti già artificializzati*

# Comment intégrer la biodiversité dans les retenues existantes ?

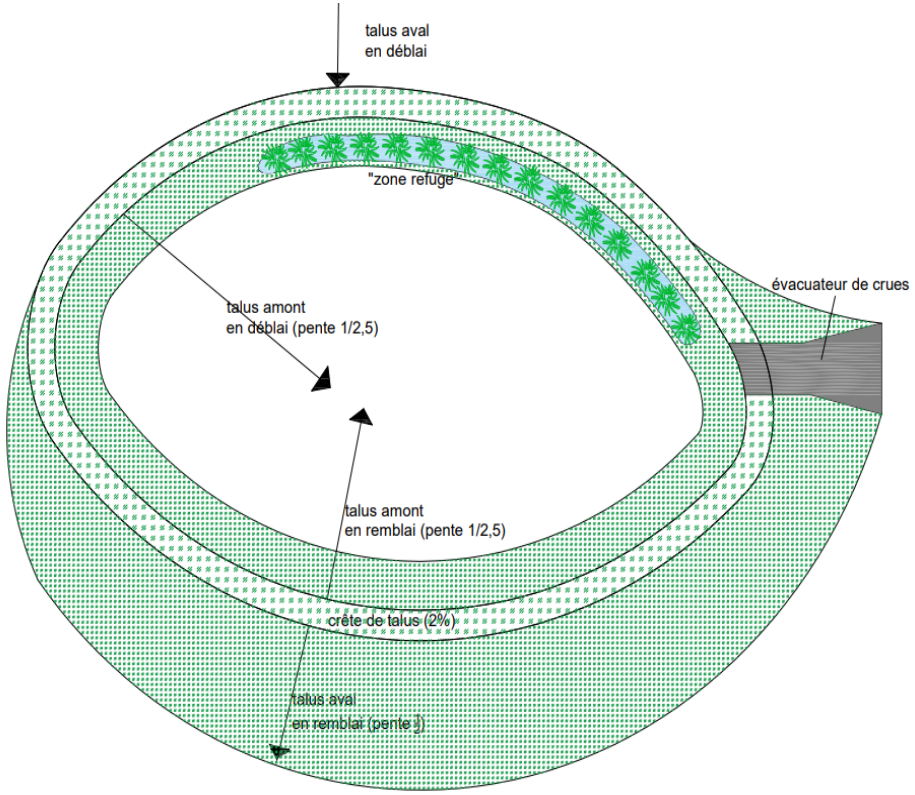
*Come integrare la biodiversità nei sbarramenti esistenti ?*

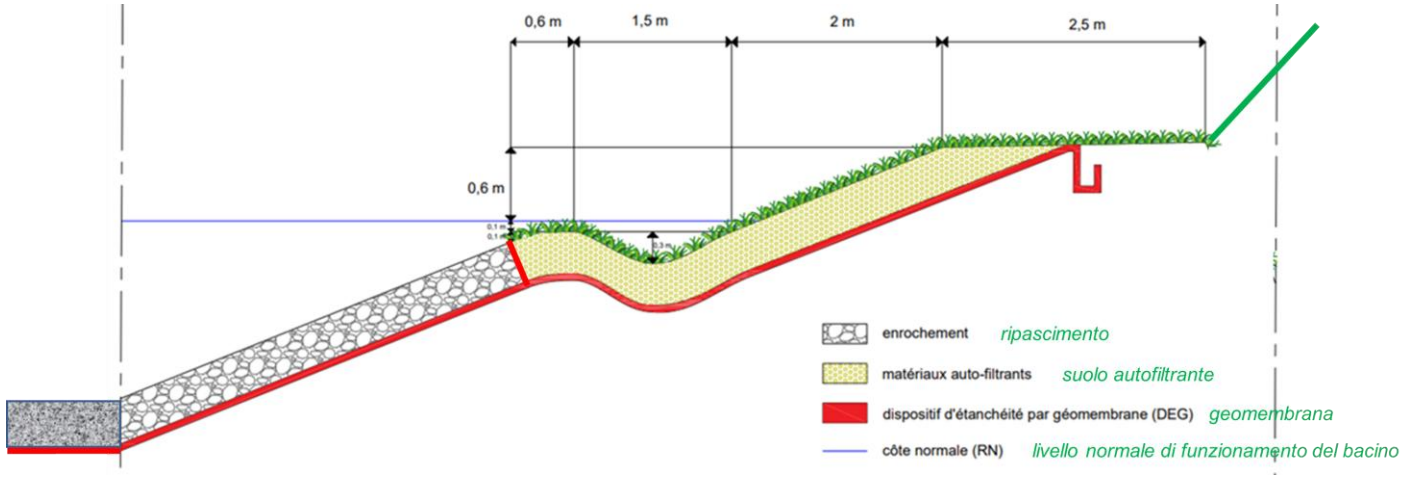
Interreg France – Italia ALCOTRA

Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea

BECCA

## Principes de conception / *Principi di progettazione*



# Comment intégrer la biodiversité dans les retenues existantes ?

*Come integrare la biodiversità nei sbarramenti esistenti ?*

**La conception des retenues intégrées dans leur environnement nécessite de faire appel à deux compétences distinctes :**

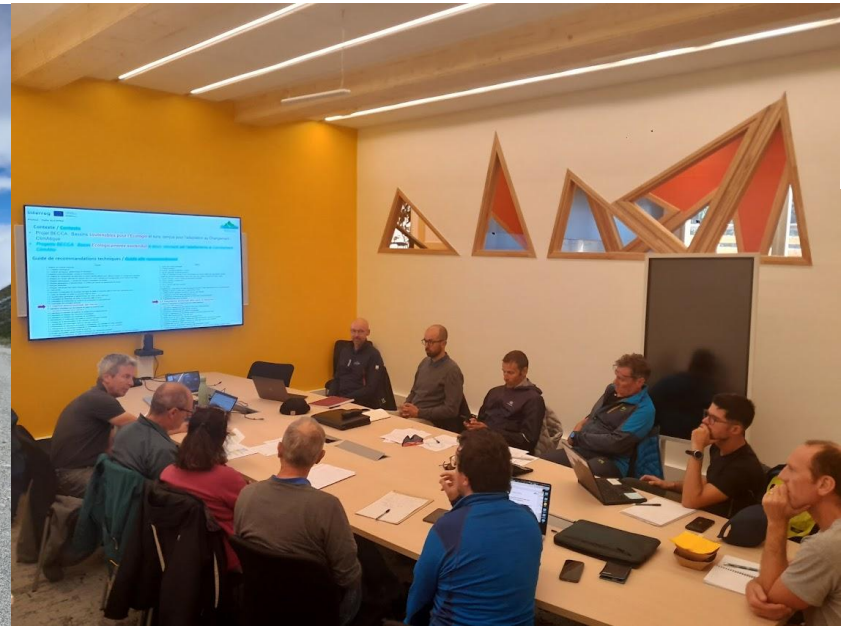
**- Une ingénierie génie civil des barrages,**

**- Une ingénierie écologique**

La progettazione di bacini integrati nel loro ambiente richiede due competenze distinte:

- Ingegneria civile delle dighe,
- Ingegneria ecologica











Interreg
Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea
France – Italia ALCOTRA
BECCA

- **Séminaire de travail entre les équipes FR et IT permettant de visiter les installations expérimentales et faire un workshop entre les équipes pour définir le contenu du chap 3.7 du guide**

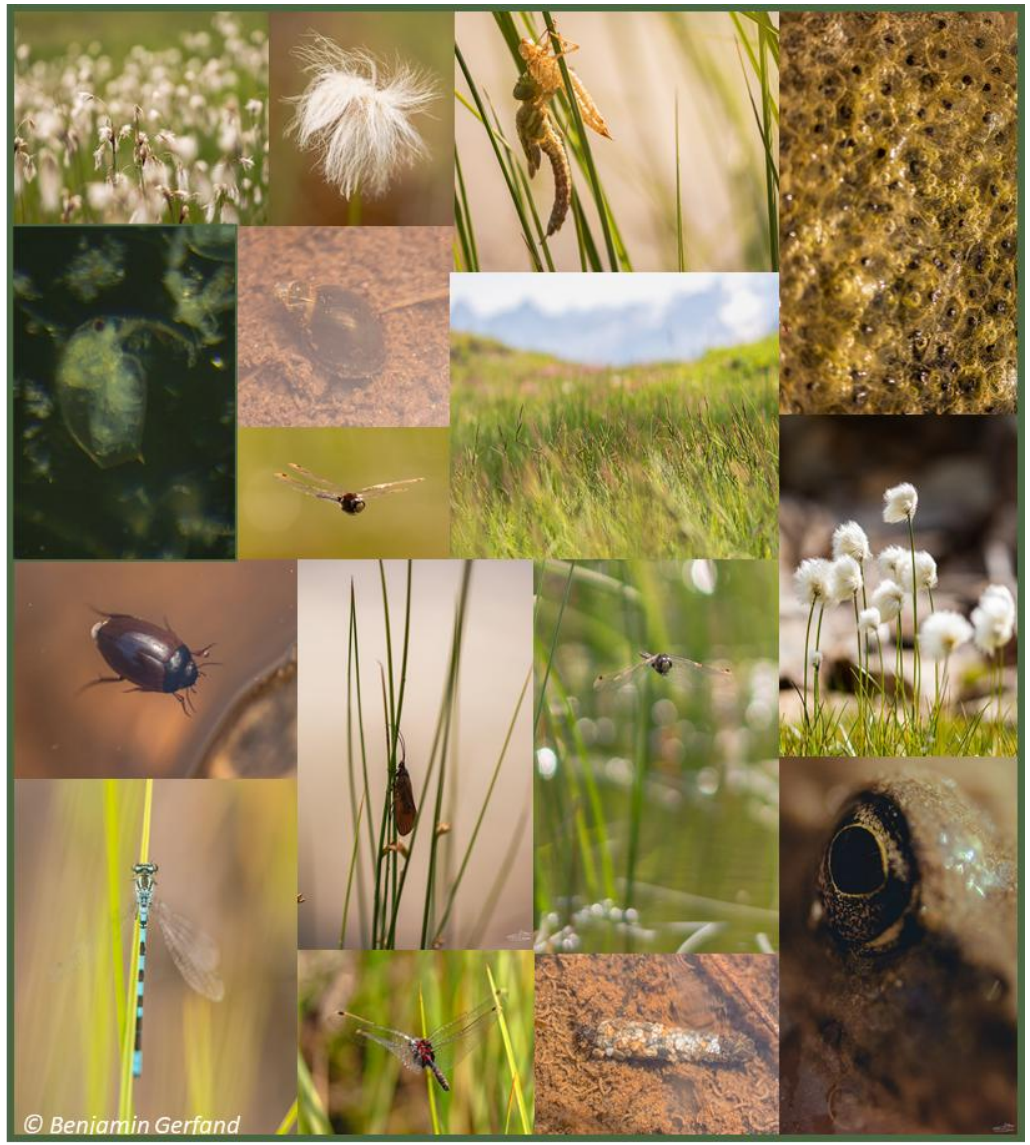
*/ Seminario di lavoro tra i team francesi e italiani per visitare le strutture sperimentali e organizzare un workshop tra i team al fine di definire il contenuto del capitolo 3.7 della guida*

- **Demi-journée de diffusion de l'information sur les livrables (fiches techniques et guide) auprès des professionnels FR et IT, réunissant 25 personnes (BE, exploitants, etc.)**

*/ Mezza giornata dedicata alla diffusione delle informazioni sui risultati finali (schede tecniche e guida) tra i professionisti francesi e italiani, con la partecipazione di 25 persone (uffici tecnici, gestori, ecc.)*

# WP4.1 Intégration environnementale des retenues

*WP4.1 Integrazione ambientale dei bacini*

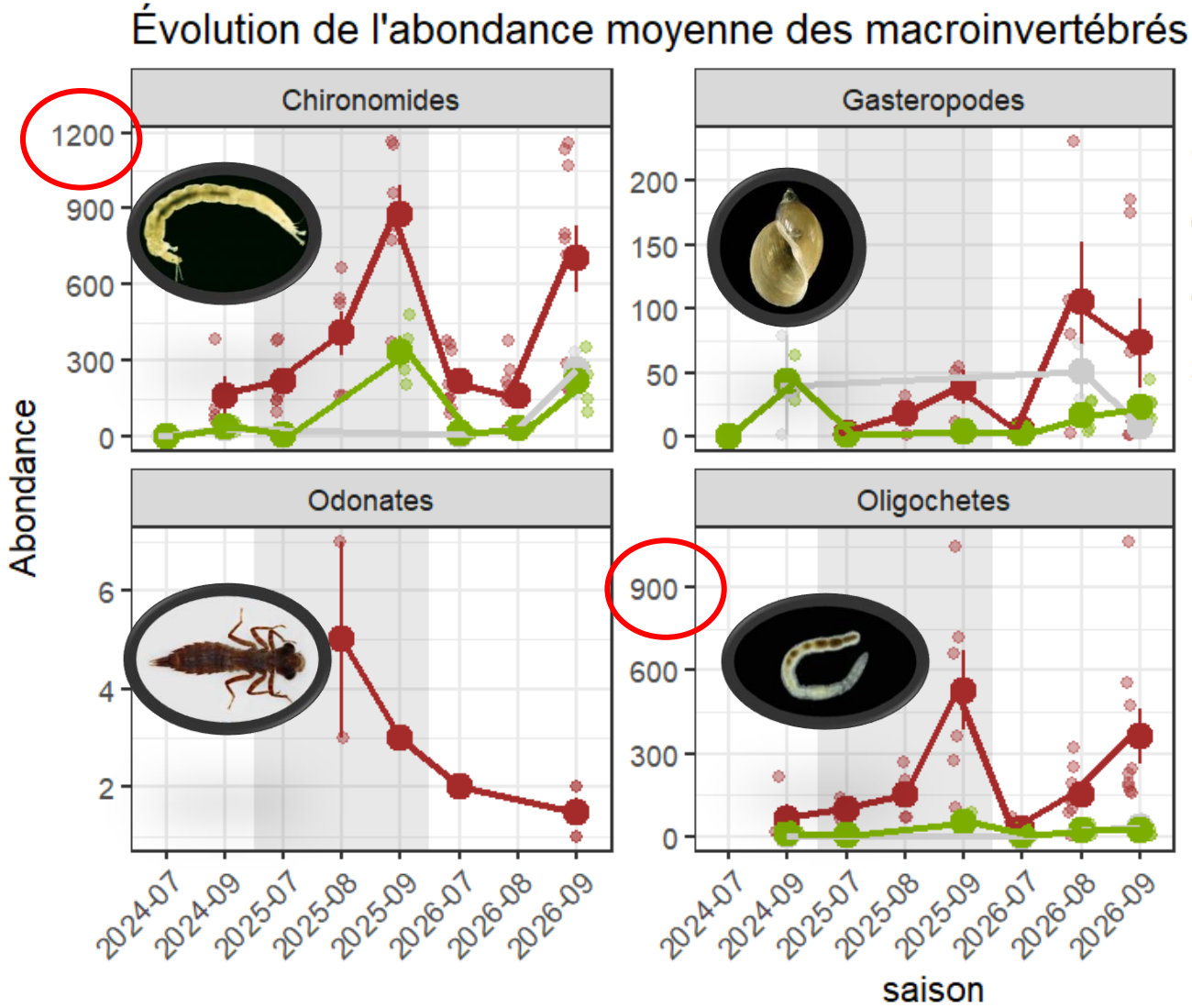



## Merci de votre attention

Grazie per l'attenzione

# Colonisation de la retenue par les macroinvertébrés

*Colonizzazione dell'invaso da parte dei macroinvertebrati*









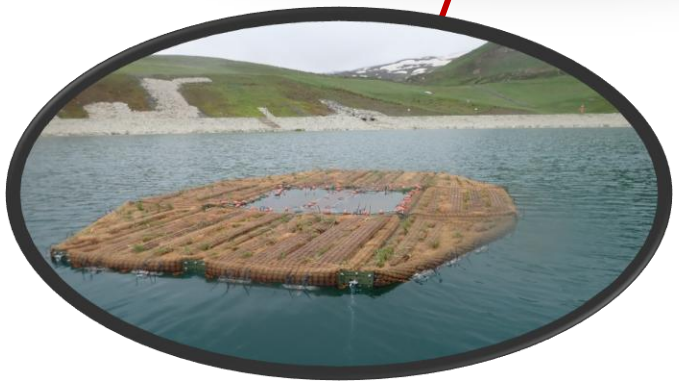

- **Les chironomes et oligochètes sont de loin les taxons les plus abondants.**
- *I chironomidi e gli oligocheti sono di gran lunga i taxa più abbondanti.*

# Végétaliser la retenue pour accueillir la biodiversité

*Inverdire il bacino per accogliere la biodiversità*







- **Des fascines disposées sur les berges et garnies de plantes aquatiques, dont l'objectif est de fournir une ceinture de végétation sur les berges de la retenue.** / *Fascine disposte lungo le sponde e arricchite con piante acquatiche, che hanno lo scopo di creare una fascia di vegetazione sui bordi del bacino.*

- **Un radeau flottant, qui agirait comme un îlot central, insensible au marnage important que connaît la retenue.** / *Una zattera galleggiante, che fungerebbe da isolotto centrale, insensibile alle notevoli escursioni di livello che interessano il bacino.*

# Evolution de la végétation

*Evoluzione della vegetazione*

Interreg
Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea
France – Italia ALCOTRA
BECCA



**Fascines** / *Fascine*



**Radeau**
*Zattera*

| 09/2024 | 09/2025 | 09/2026 |
|---|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
| |  |  |

- **Sur les berges, la végétation hélophyte s'est bien développée au cours des trois années d'expériences.** *Sulle rive, la vegetazione elofitica si è ben sviluppata nel corso dei tre anni di esperimenti.*
- **Sur la radeau, elle s'est bien maintenue et se développe plus lentement. Le système racinaire en revanche s'est abondamment développé.** *Sulla zattera, si è mantenuta bene e si sviluppa più lentamente. L'apparato radicale, invece, si è sviluppato abbondantemente.*

# Conclusion sur la végétalisation des berges

*Conclusioni sulla vegetazione delle sponde*

Interreg France – Italia ALCOTRA

Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea

BECCA

## Hélophytes
## *Elofite*

**Bonne survie des deux espèces après 3 ans**
***Buona sopravvivenza di entrambe le specie dopo 3 anni***

**> 97%**

**Croissance satisfaisante avec 2 stratégies écologiques différentes**
***Crescita soddisfacente grazie a due diverse strategie ecologiche***







**2 nouvelles espèces hélophytes ont colonisé les fascines**
***2 nuove specie elofite hanno colonizzato le fascine***




*Carex canescens*




*Juncus filiformis*

**Les hélophytes sont de bonnes candidates**
***Le elofite sono ottime candidate***

**Nécessité de généraliser la méthodologie de sélection des espèces**
***Necessità di estendere la metodologia di selezione delle specie***

**Nécessité de développer des contrats de culture**
***Necessità di sviluppare contratti di coltivazione***

## Hydrophytes
## *Idrofite*

Bien adaptées aux conditions estivales
*Ideali per le condizioni estive*

Très faible survie des Characées à l'assèchement/gel
*Bassissima sopravvivenza delle Caracee in condizioni di prosciugamento/gelo*

**Nécessité de poursuivre des tests de culture**
***Necessità di proseguire i test colturali***

# Végétaliser la retenue pour accueillir la biodiversité

*Inverdire il bacino per accogliere la biodiversità*

Interreg
Cofinancé par l'Union Européenne
Cofinanziato dall'Unione Europea
France – Italia ALCOTRA
BECCA

- **Les mêmes espèces sont plantées sur le radeau et dans les fascines, et les mêmes techniques utilisées pour échantillonner les invertébrés.** *Sulla zattera e nelle fascine vengono piantate le stesse specie, e per campionare gli invertebrati si utilizzano le medesime tecniche.*





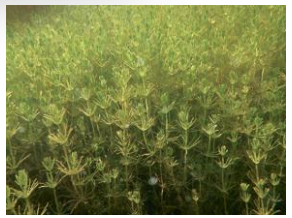


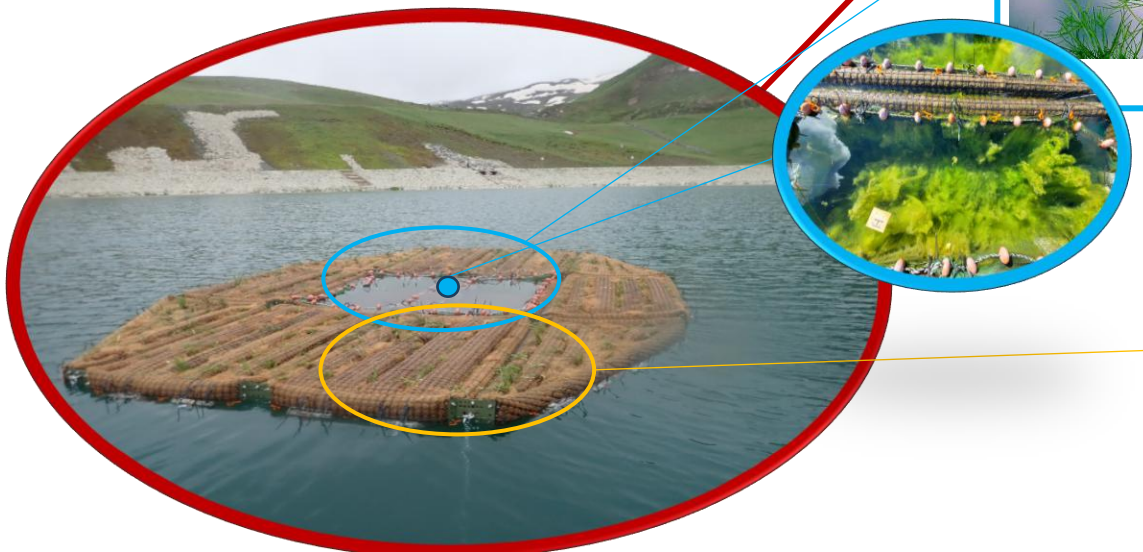
- **Hydrophytes** / *Idrofites*

*Chara globularis*



*Chara vulgaris*







- **Hélophytes** / *Elofites*

*Carex nigra*




*Eriophorum angustifolium*

