



Journée scientifique & technique
 Plateforme « Recherche-Gestion » de l'ORZHC
 Plateforme « Recherche-Acteurs » du projet ANR UNITI
 (2023-2030 / ANR-EXE-0016)



HYDRO-ÉCOLOGIE DES TOURBIÈRES
 Mardi 13 juin 2023, Università di Corsica

La tourbière méditerranéenne de Moltifau (Valdu) : Un puits de carbone tributaire des eaux souterraines

Sébastien SANTONI, Maître de Conférences en Hydrogéologie

Université de Corse
 UMR **CNRS** 6134 SPE
 Département d'Hydrogéologie
 F-20250 Corte, **France**
 santoni_s@univ-corse.fr



En collaboration avec:



Stellenbosch
 UNIVERSITY
 IYUNIVESITHI
 UNIVERSITEIT



**FRIEDRICH-ALEXANDER
 UNIVERSITÄT
 ERLANGEN-NÜRNBERG**



CRP F33027



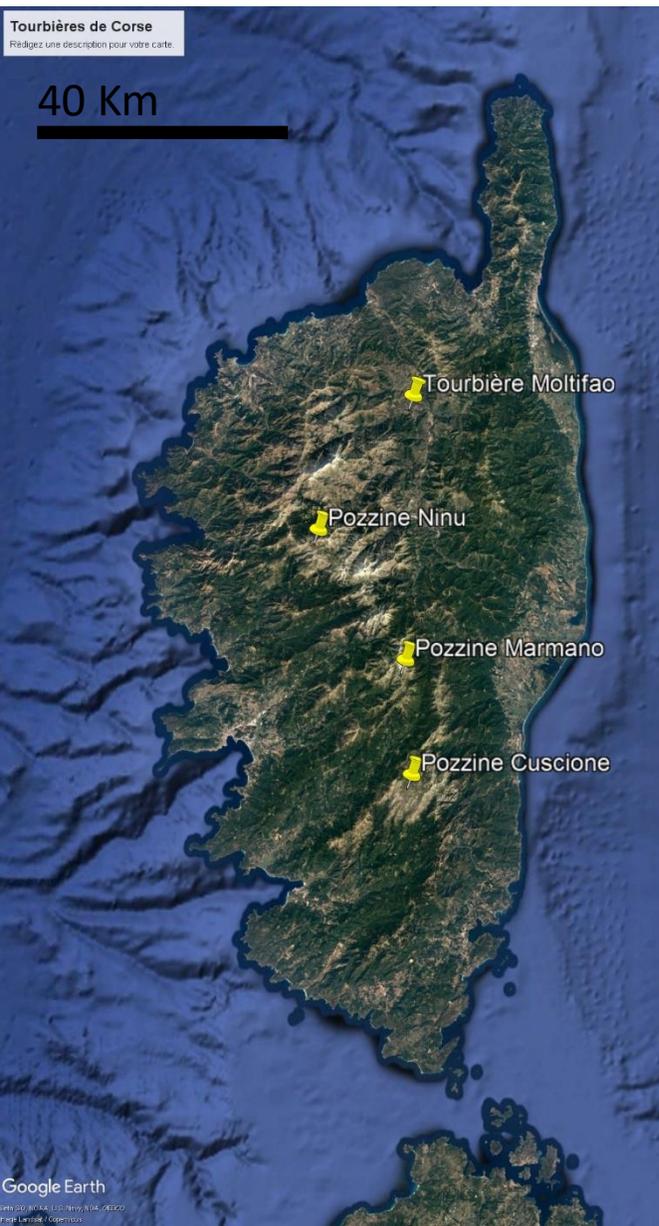
IAEA
 International Atomic Energy Agency



UNIL | Université de Lausanne

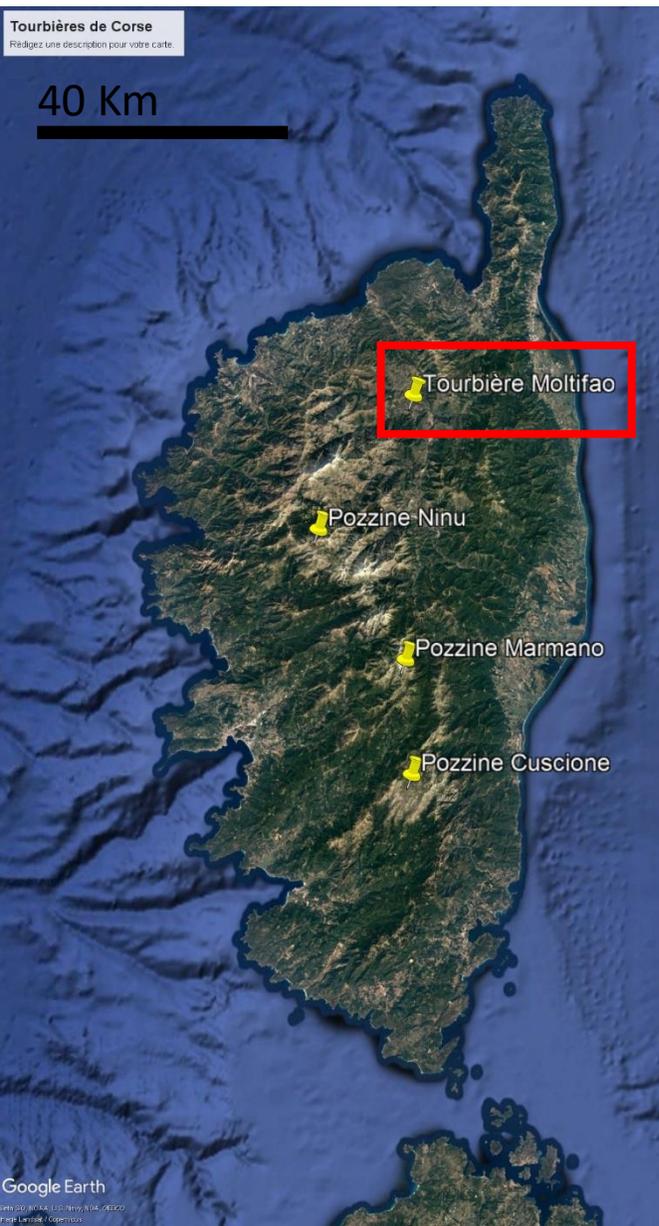


C. Piazza – CBNC



La plupart des tourbières correspondent aux *pozzine*

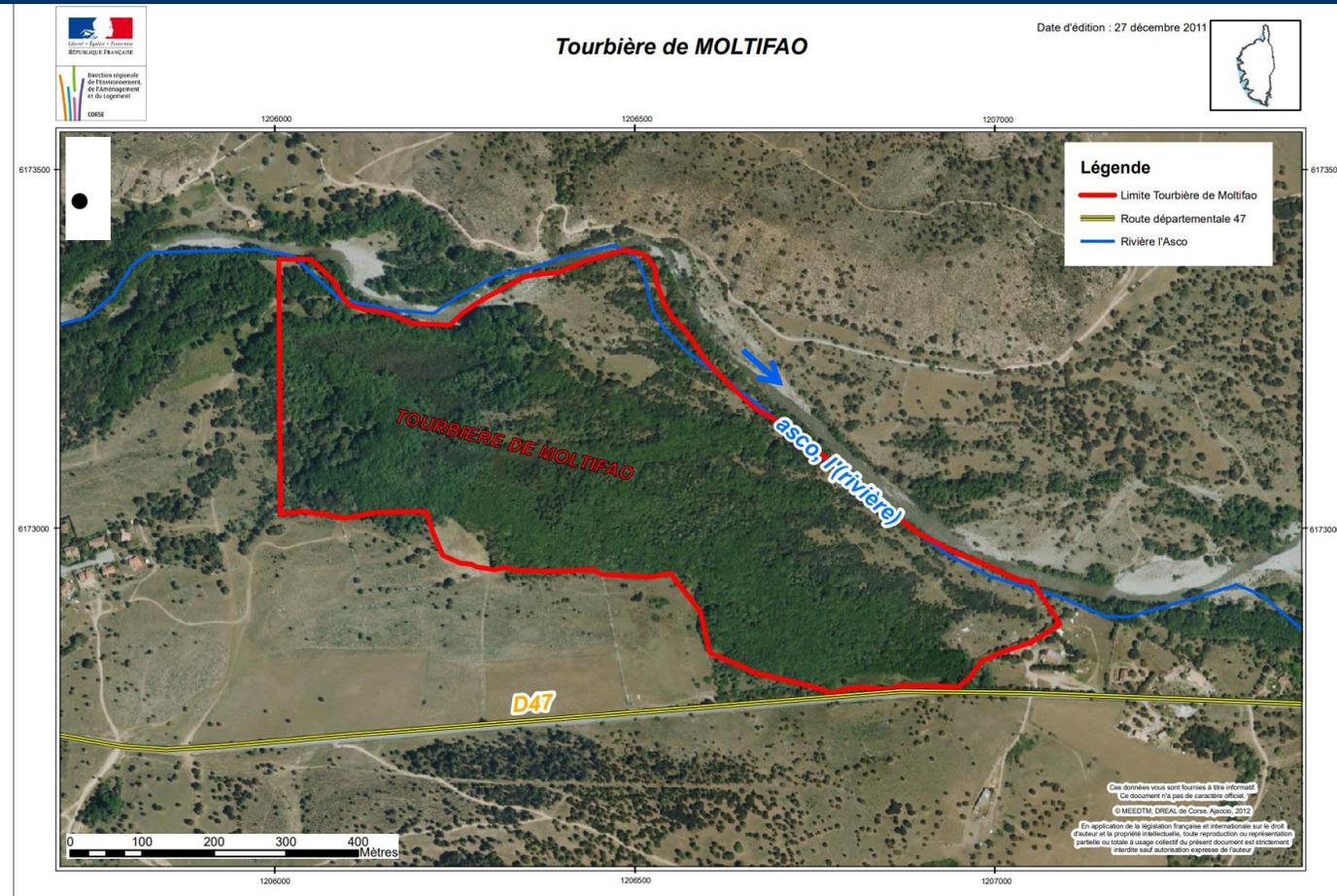
- “*Pozzi*” (trou) + terminaison “*ine*” (alpin)
- **Pelouses herbeuses à gazon ras sur sol tourbeux, parsemées de trous d’eau plus ou moins profonds**
- Se rencontrent fréquemment en **bordure des lacs de montagne (une 40^{aine} en Corse)**
- Constituent parfois un **stade avant comblement total** de la cuvette lacustre.



Tourbière de Moltifau (Valdu), une importance internationale :

- Site **RAMSAR**, **Natura 2000** et **Réserve Biologique Dirigée (ONF)** d'environ 4 Ha.
- **Tourbière acide à sphaignes** : site considéré comme un **habitat prioritaire** par la Directive « Habitats » de l'**Union européenne**.
- Qualifiée de **tourbière haute active, jeune** ($^{14}\text{C} = 515 \text{ a}$).
- Abrite une **biodiversité exceptionnelle**

- Abrite une **biodiversité exceptionnelle** :
 - **Végétale** : nombreuses espèces dont les **Sphaignes**, **Liparis**, **Potamot**...
 - **Animale** : plusieurs espèces de **chauves-souris**, d'**amphibiens** et de **reptiles**; *tous menacés ou bénéficiant d'une protection au niveau national.*



Cistude d'Europe
Emys orbicularis



Liparis de Loesel
Liparis loeselii



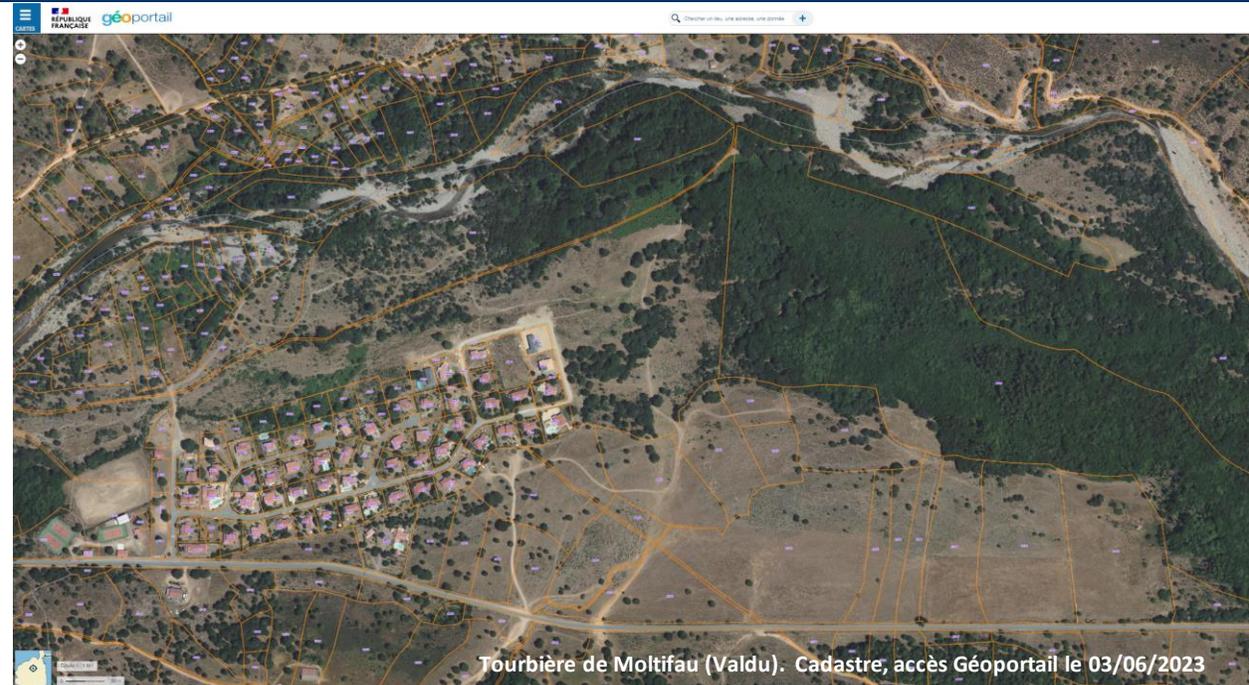
Sphaignes
Sphagnum sp.



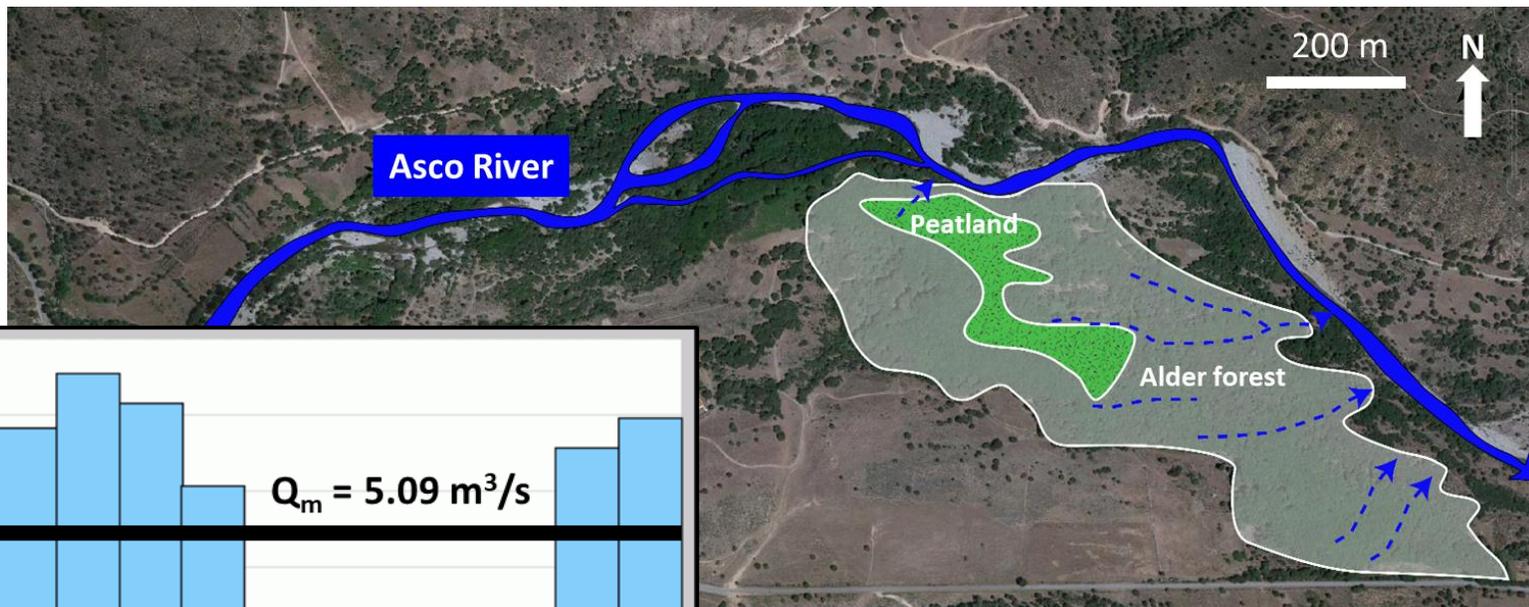
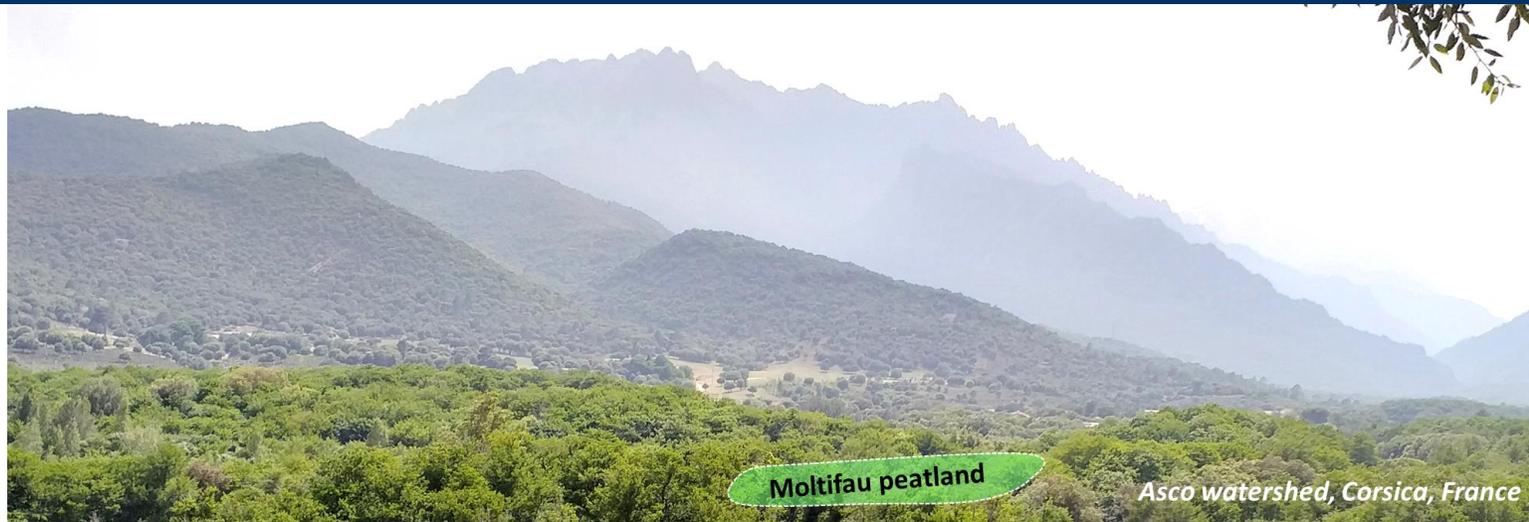
Potamot à feuilles de renouées
Potamogeton polygonifolius



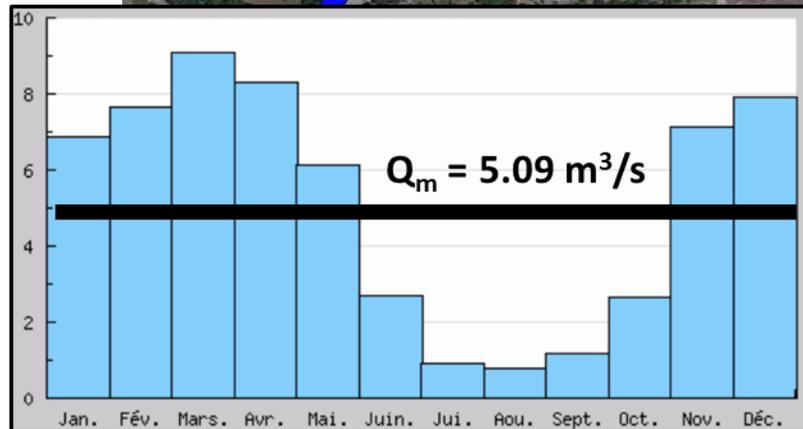
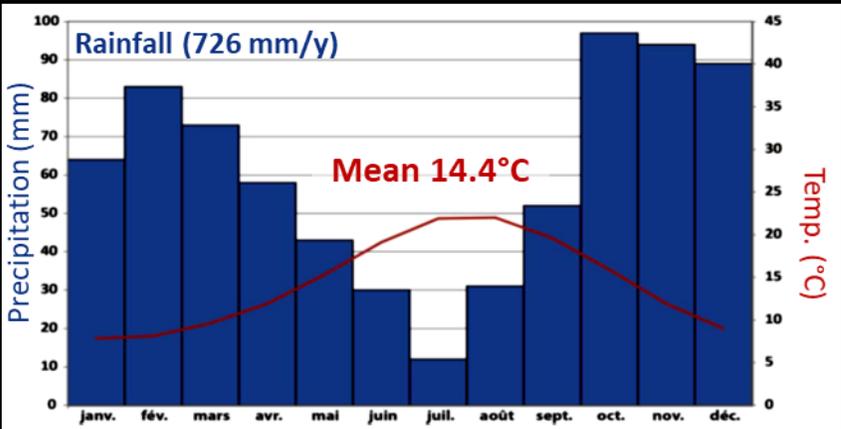
- **Des risques/menaces potentiels :**
 - **Fermeture du milieu :** plantes vasculaires
 - **Érosion :** crues de l'Asco
 - **Anthropisation ?**
 - **Evolution des conditions hydroclimatiques en Méditerranée**
Inondation permanente?



- **Conditions hydroclimatiques :**
 - Climat tempéré méditerranéen (Csa selon Köppen)
 - **Faible altitude** (250 m) dans un BV alpin (2710 m)
 - **Renforce la sécheresse estivale**



➔ **Conditions *a priori* défavorables (rôle ES?)**



Ombrothermic diagram (1990-2010), source MeteoFrance.

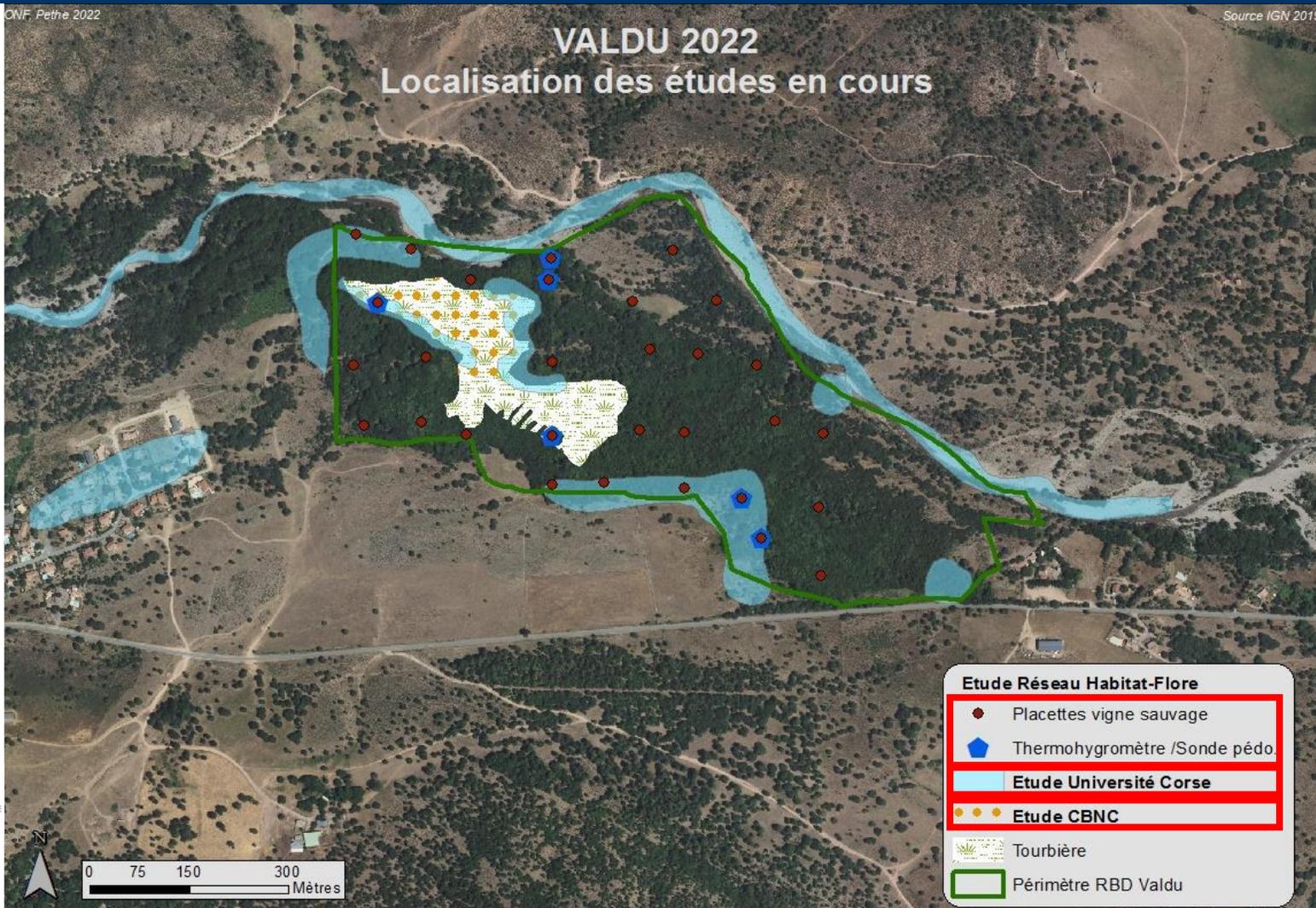
Asco River flow diagram (1990-2010), source BanqueHydro.

Nécessaire d'apporter plus de connaissances scientifiques pour évaluer la capacité de résilience / vulnérabilité de cette tourbière de Méditerranée



Apporter des connaissances fondamentales sur les processus liés aux cycles de l'eau et du carbone

Proposer des éléments d'arbitrage scientifiques pour une gestion pérenne de cet hydro-écosystème



- **Suivis/études en cours:**
 - **ONF** : protocole *vigne sauvage*: étude peuplement
 - Placettes
 - Thermo-hygromètre sol
 - Pédologie/Niveau piézo.



- **CNB Corse** : suivi *Liparis loeselii* (L.) Riche, 1817
 - Inventaire + biométrie
 - Mesures pH



- **Univ. Corse / UMR CNRS SPE 6134 GEM – Hydrogéologie**

- **Interactions cycles de l'eau et du carbone**

4 Ionic Chromatographs

Thermo DIONEX
ICS1000
(major ions)

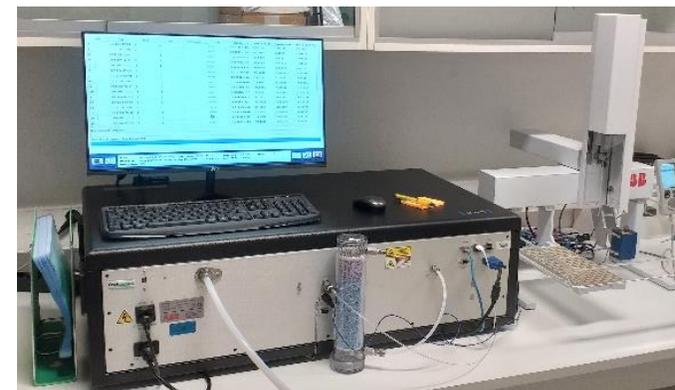


2 spectrophotometers
Thermo GENESYS UV-vis
(Si, cDOM, DOC)



2 Laser Isotope Spectrometers

LGR DLT100 ($\delta^{2}\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{17}\text{O}$)



Spectrofluorimeter
Xenius – SAFAS
(DOM)



1 mini RUEDI -
portable MIMS*
(air & water: Ne,
Ar, Kr, N₂, O₂,
CO₂, CH₄, H₂...)

*Membrane Inlet Mass Spectrometry

2 RAD7
Durridge
(^{222}Rn)



Cette tourbière méditerranéenne en « avant-poste » des pressions climatiques et anthropiques remplit-elle toujours son rôle de puits de carbone ?



2021 – Compréhension du fonctionnement hydrogéologique à l'échelle saisonnière (mécanismes de recharge)

Science of the Total Environment 768 (2021) 144721



Mediterranean Peatland Water, Gas, and Soil content (Moltifau peatland, Corsica Island, France)

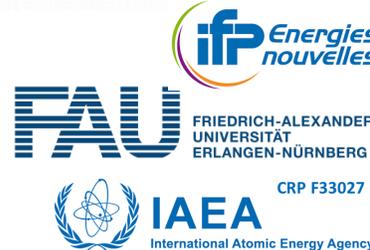
Published: 24 October 2022 | Version 1 | DOI: 10.1016/j.stenv.2022.101763

Contributors: Sebastien Santoni, Emile Garel, Marina Gillon, Milanka Babic, Jorge E. Spangenberg, Brahim Samba Bomou, David Sebag, Thierry Adatte, Robert Van Geldern, Vanina Pasqualini, Alexandra Mattei, Frederic Huneau



2023 – Recherche de marqueurs géochimiques d'alteration de la matière organique en présence (origines du CO₂)

Science of the Total Environment 866 (2023) 161098



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Assessing the hydrogeological resilience of a groundwater-dependent Mediterranean peatland: Impact of global change and role of water management strategies

S. Santoni^{a,b,c,*}, E. Garel^{a,b}, M. Gillon^c, V. Marc^c, J. Miller^d, M. Babic^c, R. Simler^c, Y. Travi^c, M. Leblanc^c, F. Huneau^{a,b}

^a Université de Corse Pascal Paoli, Faculté des Sciences et Techniques, Département d'Hydrogéologie, Campus Grimaldi, BP 52, F-20250 Corte, France
^b CNRS, UMR 6134 SPE, F-20250 Corte, France
^c Avignon Université, UMR 1114 EMMAH, UAPV, 301 rue Baruch de Spinoza, BP 21239, F-84916 Avignon, France
^d Stellenbosch University, Department of Earth Sciences, Private Bag XI, Matieland 7602, South Africa



The role of groundwater in CO₂ production and carbon storage in Mediterranean peatlands: An isotope geochemistry approach

S. Santoni^{a,b,*}, E. Garel^{a,b}, M. Gillon^c, M. Babic^c, J.E. Spangenberg^d, B. Bomou^e, D. Sebag^f, T. Adatte^e, R. van Geldern^g, V. Pasqualini^{a,b}, A. Mattei^{a,b}, F. Huneau^{a,b}

^a Université de Corse Pascal Paoli, Département d'Hydrogéologie, Campus Grimaldi, BP52, 20250 Corte, France
^b CNRS, UMR 6134 SPE, BP52, 20250 Corte, France
^c Avignon Université, UMR 1114 EMMAH, INRAE, 301 rue Baruch de Spinoza, BP21239, 84916 Avignon, France
^d University of Lausanne, Institute of Earth Surface Dynamics (IDYST), Géopolis, 1022 Chavannes-près-Renens, Lausanne 1015, Switzerland
^e University of Lausanne, Institute of Earth Sciences (ISTE), Géopolis, 1022 Chavannes-près-Renens, Lausanne 1015, Switzerland
^f IFP Energies Nouvelles, Earth Sciences and Environmental Technologies Division, 1-4 Avenue du bois Préau, 92852 Ruëil-Malmaison, France
^g Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Department of Geography and Geosciences, GeoZentrum Nordbayern, Schlossgarten 5, 91054 Erlangen, Germany

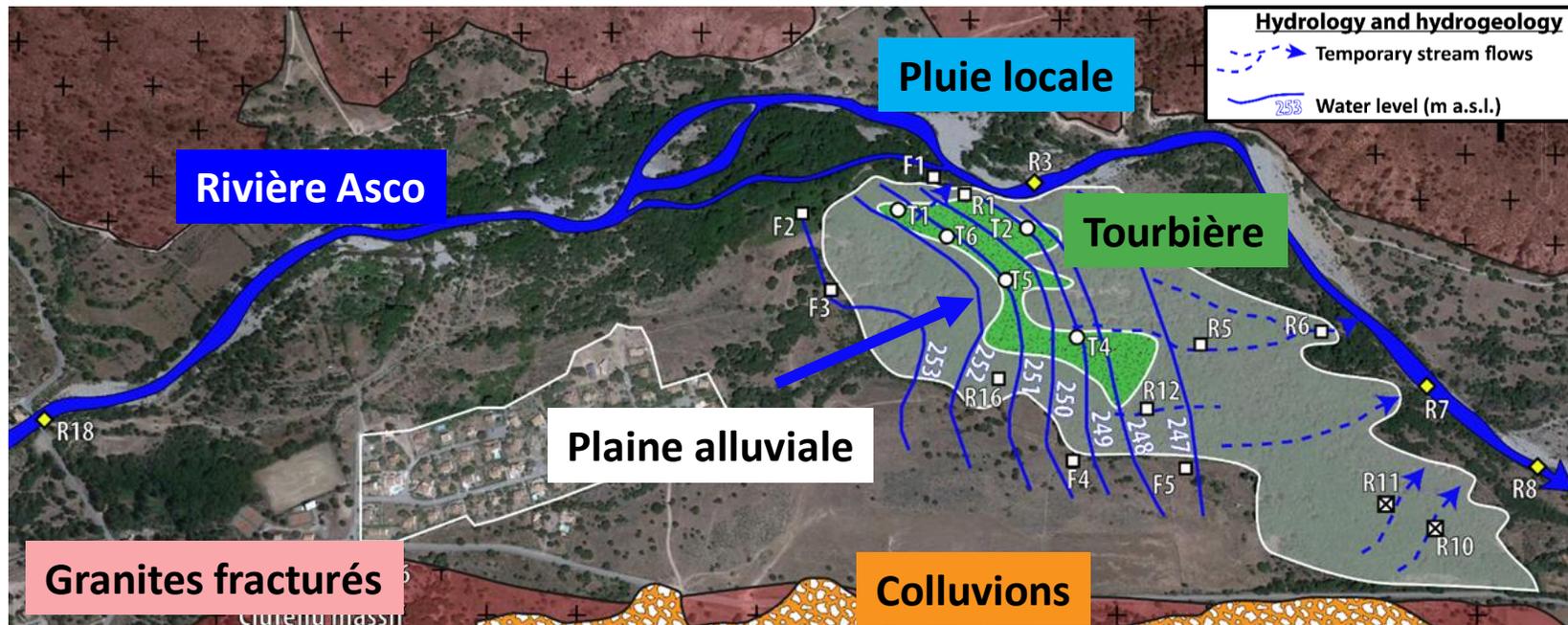
10.754
Impact Factor

10.754
Impact Factor

A – Origines de l'eau de la tourbière (recharge)

Bassin-versant montagneux à lithologie variée

Signatures géochimiques et isotopiques contrastées



SUIVI (n=27)
Mensuel : pluie et rivière
Trimestriel : tourbière
 Eaux souterraines granites, colluvions, alluvions.

Tourbière alimentée par un aquifère alluvial (cf. piezo.)

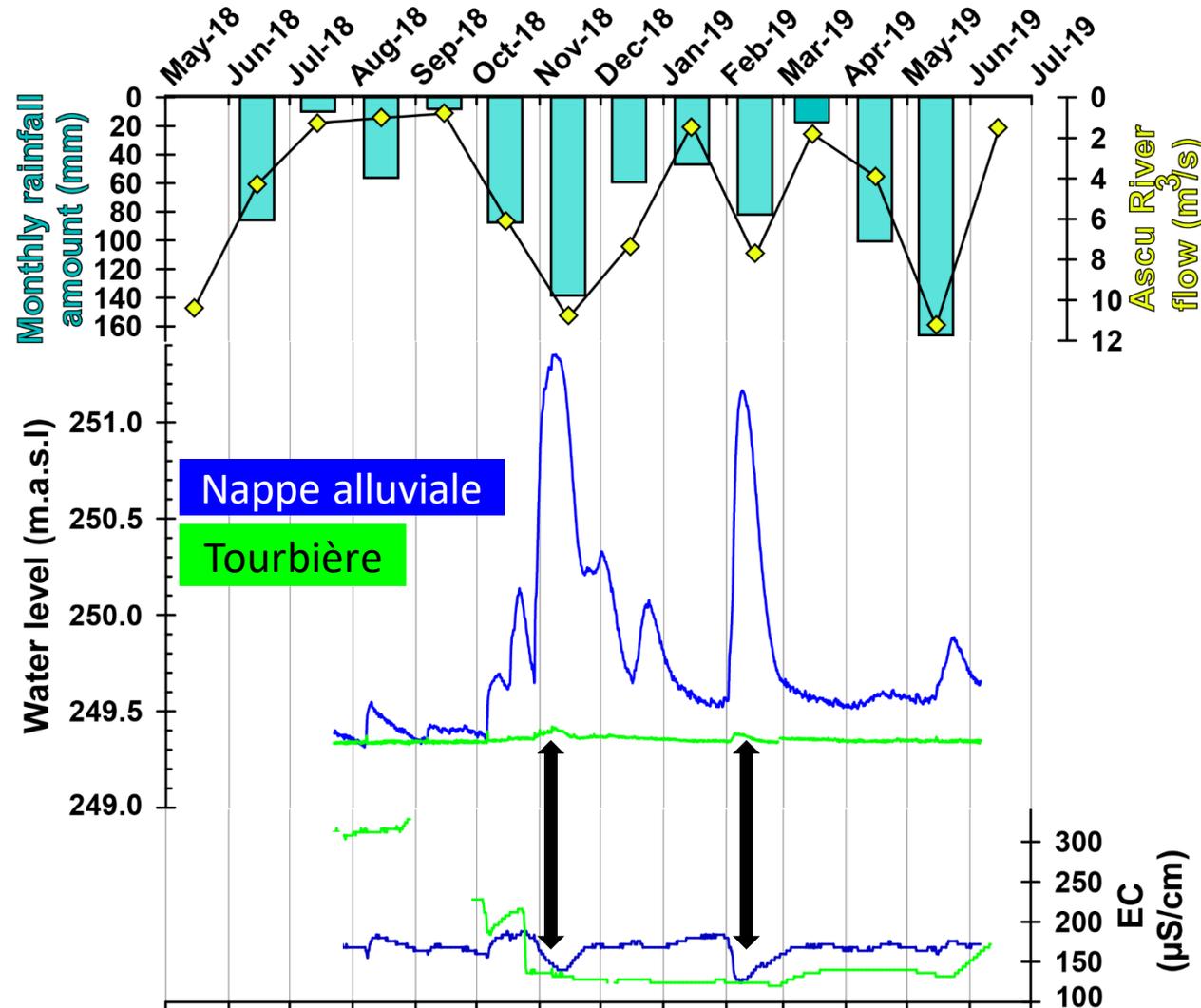
Aquifère alluvial potentiellement connecté à : rivière + granite + colluvions

A – Origines de l'eau de la tourbière (recharge)

Quel est le rôle des eaux souterraines ?



Moltifau peatland
Corse, France



- Évolution synchrone entre le débit rivière et les niveaux d'eau de la nappe alluviale et de la tourbière (amortissement)
- Lien étroit entre niveau piézométrique de la nappe et hauteur d'eau dans la tourbière.

Tourbière = tributaire des eaux souterraines



A – Origines de l'eau de la tourbière (recharge)

Pôles de recharge : % de contribution au fil des saisons ?

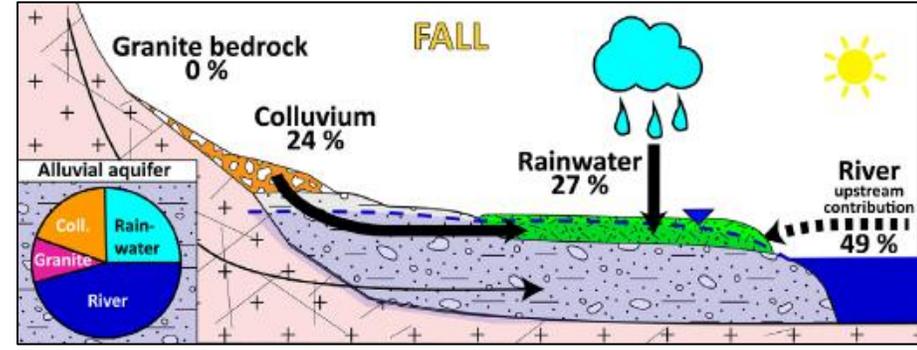
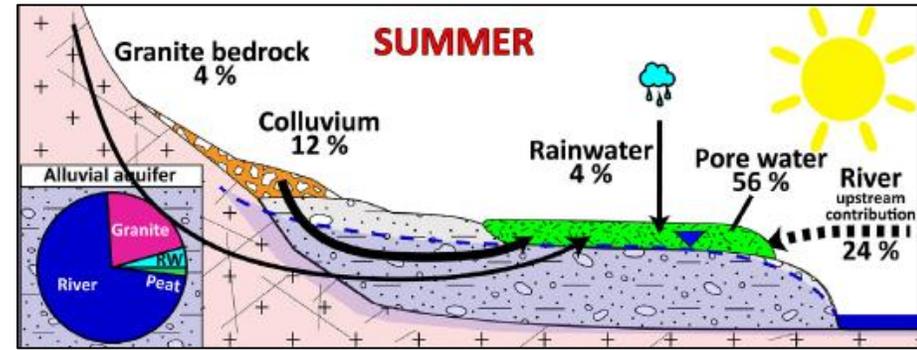
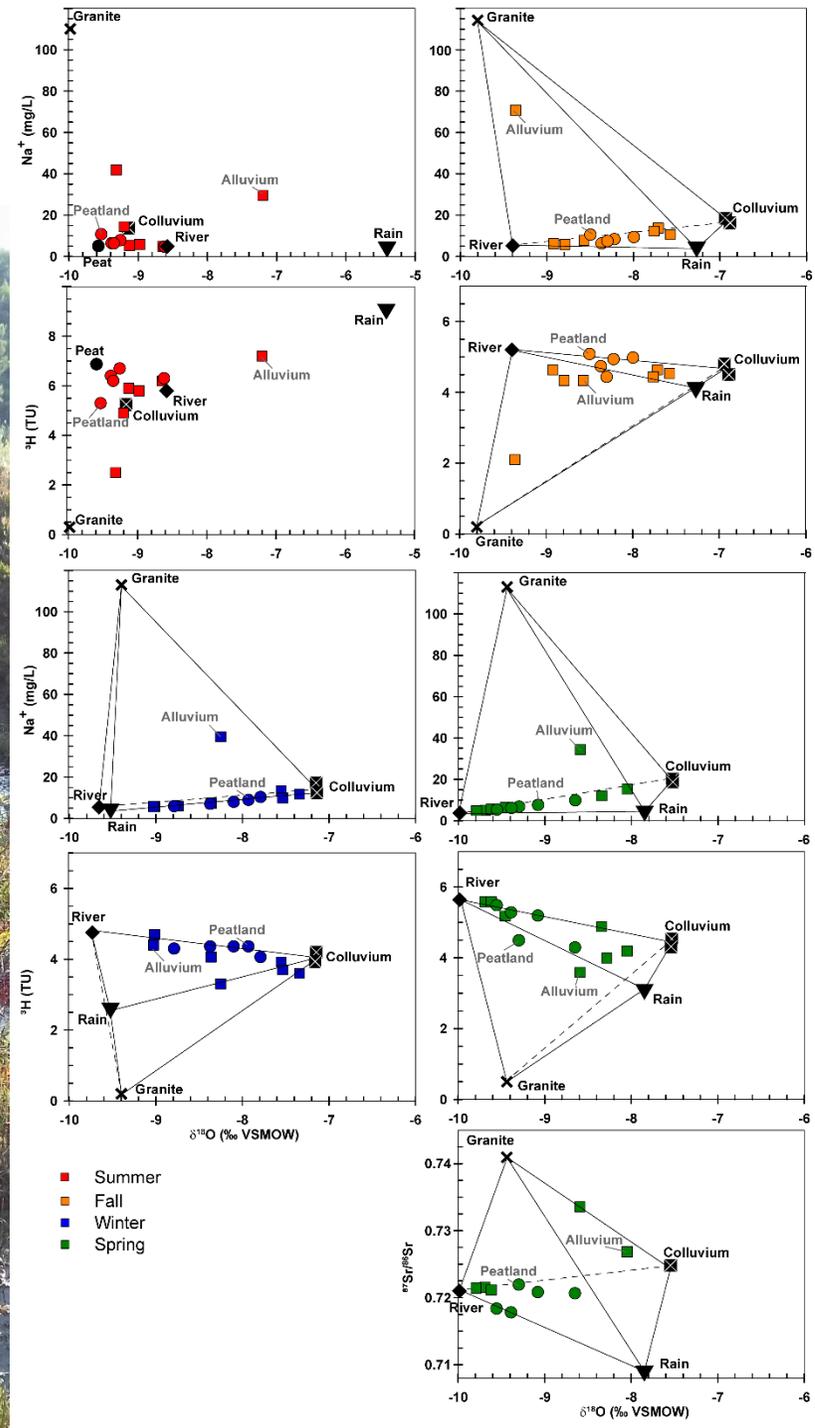
End-Member Mixing Analysis (EMMA)

$$1 = f_a + f_b + f_c + f_d$$

$$[X]_{\text{sample}} = f_a \times [X]_{\text{rainwater}} + f_b \times [X]_{\text{colluvium}} + f_c \times [X]_{\text{granite}} + f_d \times [X]_{\text{river}}$$

[X] correspond à Na^+ , $\delta^{18}\text{O}$, ^3H , ou $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

^3H considéré comme un traceur conservatif à l'échelle saisonnière



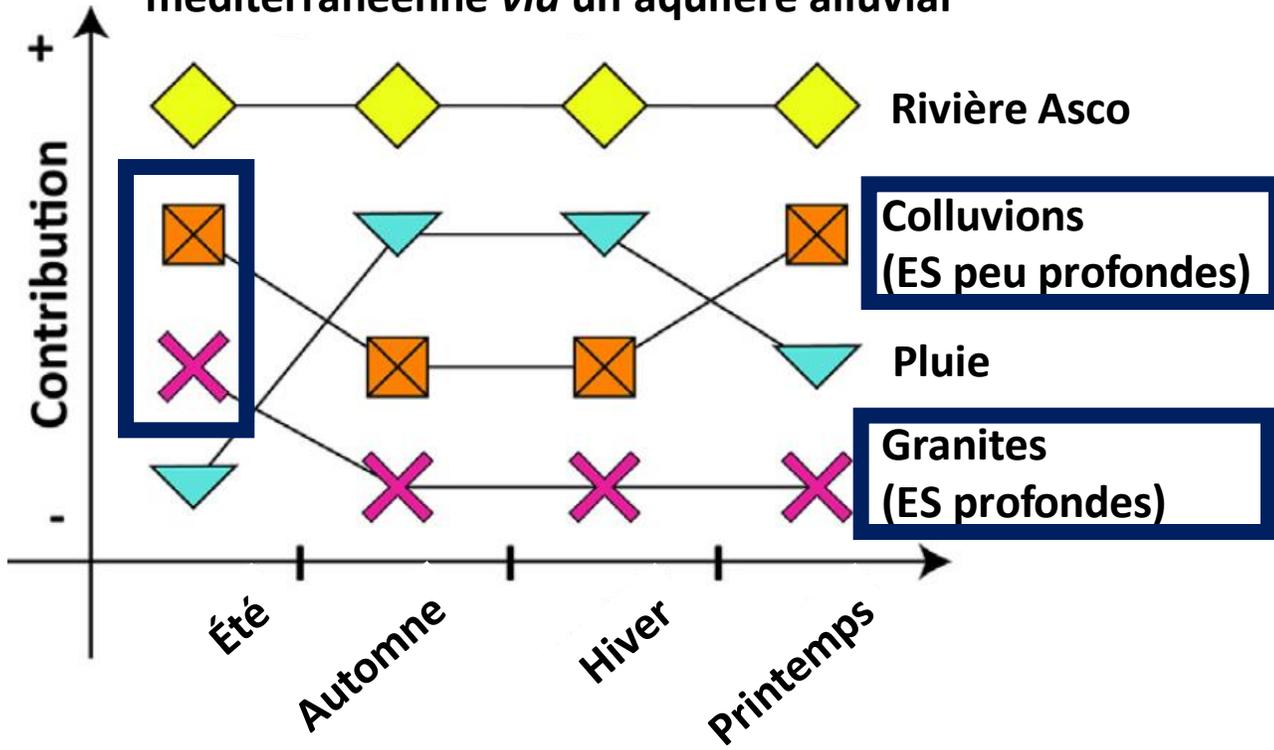
A – Origines de l'eau de la tourbière (recharge)

Pôles de recharge : % de contribution au fil des saisons ?



Moltifau peatland, Corsica, France

Recharge saisonnière d'une tourbière méditerranéenne *via* un aquifère alluvial



Soutien important des eaux souterraines pendant la sécheresse estivale

Tous les pôles de recharge du bassin versant sont impliqués dans la réalimentation en eau de la tourbière !
(mais différemment, d'une saison à l'autre)

B – Origines du CO₂ à l'interface tourbière-atmosphère

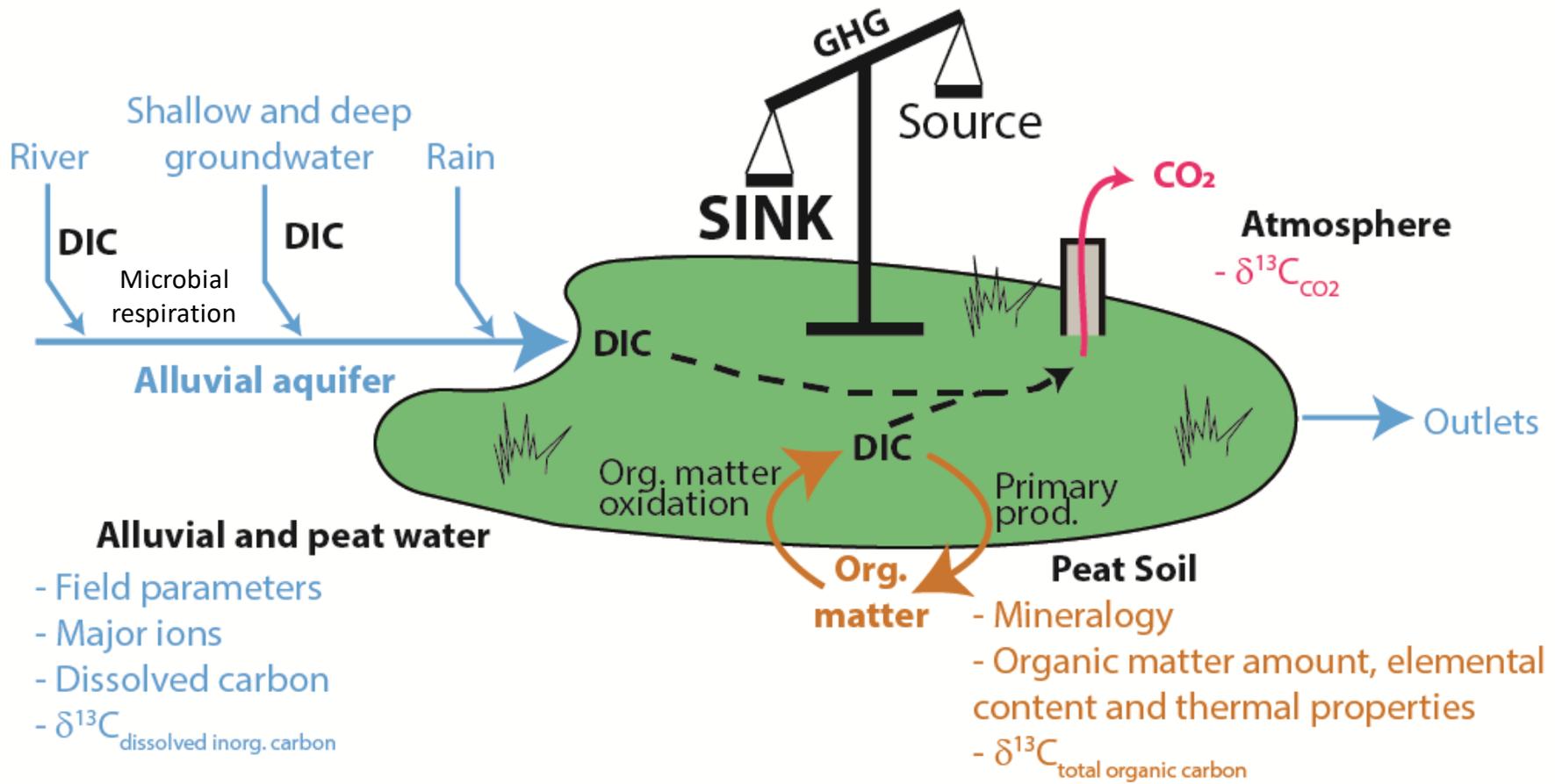
D'où provient le CO₂ émis à l'interface tourbière – atmosphère ?



Moltifau peatland, Corŕica, France

Différentes sources possibles :

aquifère alluvial / dégradation de la matière organique...



B – Origines du CO₂ à l'interface tourbière-atmosphère

Carbone inorganique dissous provenant de la nappe alluviale (BV)



Moltifau peatland
Corse, France

“Reverse” End-Member Mixing Analysis (EMMA)

Sur la base des proportions de mélanges connus, calcul de la valeur de $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ théoriquement attendue dans l'eau de tourbière ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ mesuré dans chaque pole de recharge).

$$1 = f_a + f_b + f_c + f_d$$

$$[\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}]_{\text{modeled}} = f_a \times [\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}]_{\text{rainwater}} + f_b \times [\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}]_{\text{colluvium}} + f_c \times [\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}]_{\text{granite}} + f_d \times [\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}]_{\text{river}}$$

	Peatland $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ MEASURED	Peatland $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ COMPUTED (EMMA)	MEASURED - COMPUTED	10% error (from both $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and EMMA analysis)	Interpretation
Spring	-13.7	-18.7	5.0	2.7	Input of enriched $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$
	-18.4	-18.7	0.3	3.7	Hypothesis validated
	-17.1	-18.1	1.0	3.4	

65 % des données expliquées par ce modèle :
le DIC de la tourbière est allochtone

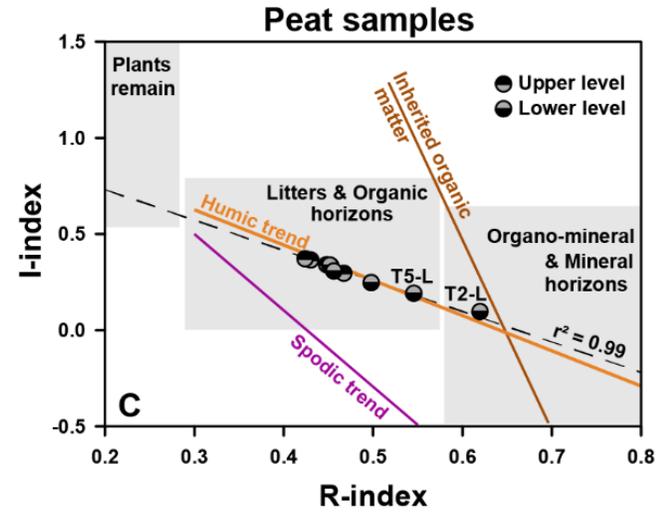
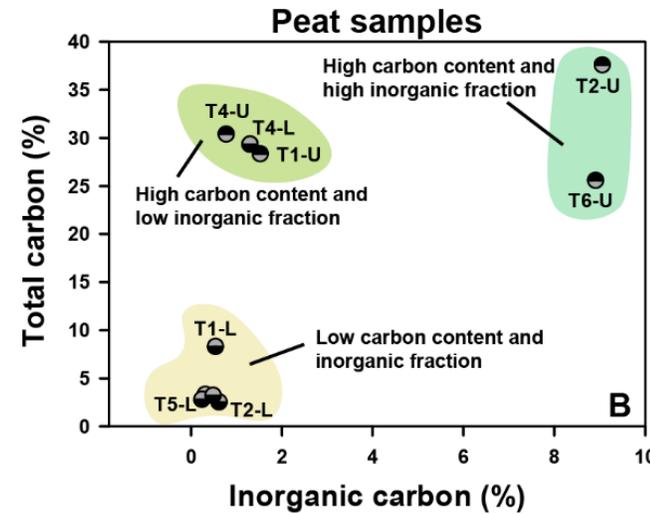
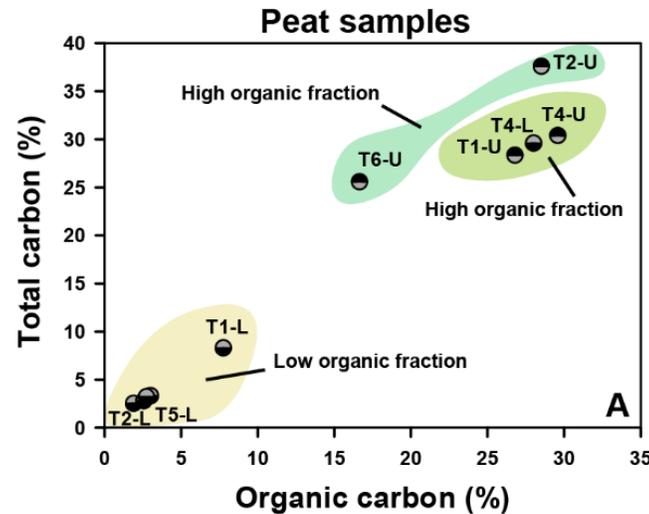
35 % des données non expliquées par ce modèle (signature enrichie):
Le DIC est issu de processus autochtones, en particulier en été

B – Origines du CO₂ à l'interface tourbière-atmosphère

Des preuves de la décomposition de la matière organique dans la tourbière ?



Moltifau peatland, Corsica, France



Les teneurs en C sont variables, avec une fraction inorganique parfois notable pourtant...

L'indice I de l'analyse Rock-Eval® quantifie le degré de transformation des fractions issues du matériel biologique, tandis que l'indice R qualifie la fraction thermiquement stable.

Même si décomposition MO en profondeur, les données suggèrent une production primaire élevée (horizons Litters & org.).

➔ Fonction de stockage de C semble effective

La photosynthèse peut également expliquer l'enrichissement en ¹³C_{DIC} des échantillons d'eau de tourbière.

Cette tourbière méditerranéenne en « avant-poste » des pressions climatiques et anthropiques remplit-elle toujours son rôle de puits de carbone ?



Tourbière de Moltifau (Valdu) C. Piazza – CBNC

→ **Vulnérabilité à l'assèchement :**

Directement liée aux impacts du changement global sur le débit des rivières et le taux de recharge des colluvions (GW peu profondes).

→ **Amortie par la disponibilité de l'eau granitique profonde !**

→ **Fonction de stockage du C effective**

LIMITE DE L'APPROCHE

→ **Vision saisonnière sur des années hydrologiques relativement favorable (2018-2019), mais faisant suite à une année très sèche (2017) !**



Déficit hydrique : 5 sept 2017

Crédit photos : S. GUY– ONF

→ Partenariat Hubert Curien Barrande franco-tchèque (2022 – 2023). *HOXIDOM*

En cours : suivi trimestriel dans l'eau

- Paramètres *in situ* (T, pH, conductivité électrique, Eh, O_{2(d)}, HCO₃⁻)
- Ions majeurs
- Isotopes stables molécule d'eau : δ¹⁸O, δ²H
- Isotopes stables matière organique

→ En cours : suivi continu gestionnaires

- Niveaux d'eau/humidité du sol...

→ Stratégie commune de mise en place d'un suivi continu DE LONG TERME sur le « modèle SNO simplifié » ?

Sélection de paramètres hydro d'intérêt

SNO **Tourbières**
Fonctionnement des tourbières tempérées et impact des changements globaux



Nouvelle vague de labélisation : 2026

→ A venir : suivi (trimestriel?) des flux de GES (miniRUEDI) : CO₂, CH₄, N₂O...



HYDRO-ÉCOLOGIE DES TOURBIÈRES
Mardi 13 juin 2023, Università di Corsica

La tourbière méditerranéenne de Moltifau (Valdu) : Un puits de carbone tributaire des eaux souterraines

Sébastien SANTONI, Maître de Conférences en Hydrogéologie

Université de Corse
UMR CNRS 6134 SPE
Département d'Hydrogéologie
F-20250 Corte, France
santoni_s@univ-corse.fr



En collaboration avec:



Stellenbosch
UNIVERSITY
IYUNIVESITHI
UNIVERSITEIT



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG



CRP F33027



IAEA
International Atomic Energy Agency



UNIL | Université de Lausanne



Merci de votre attention !

C. Piazza – CBNC



Végétation / Fonge



- ▶ 1995, Calvez&Dupuy « *Cartographie de la végétation du marais de Valdo* », 1ère véritable étude sur site
→ 4 grands types de végétation déterminés
- ▶ 1996, Gamisans « *La flore et groupements végétaux des tourbières de Moltifao* »
→ 4 groupements végétaux distingués, 2 nouvelles espèces identifiées en Corse (*Liparis loeselii*-*Potamogeton polygonifolius*)
- ▶ 1997, Reille « *Analyse pollinique des tourbières de Valdu et Baglietto* »
→ Détermination de l'épaisseur de la tourbe (230 cm), estimation de l'âge de la tourbière (515 ans)
- ▶ Depuis 2009, CBNC/CNRS « *Suivi du Liparis de Loesel sur Valdu et Bagliettu* » (Etude toujours en cours)
dont Rumeau (2009) « *Plan d'action pour le Liparis de Loesel en Corse* »
→ Inventaire, localisation, mesure PH
- ▶ 2014, Poher, Guiter, Médail, Ponel « *Etude multidisciplinaire des archives paléo environnementales des réserves biologiques de Bagliettu et de Valdu* »
→ Prélèvements sur Valdu sans résultat
- ▶ 2021, ONF réseau mycologie « *Inventaire des champignons lignicoles-RBD de Valdo-Rapport intermédiaire* »
→ 1 espèce en danger critique (CR), 8 vulnérables (VU), 14 à surveiller (NT) – 13 espèces réputées indicatrices de naturalité

Faune

Jusqu'en 2001 aucun inventaire systématique, ni étude spécifique ne sont réalisées, les listes d'espèces relevant d'observations fortuites lors de passages sur la réserve.

- ▶ 1997, Roché « *Etude hydrologique succincte de la tourbière de Valdo* »

→ Identification d'odonates, 2 anisoptères et 3 zygoptères



- ▶ 2001, Groupe Chiroptère Corse (GCC) « *Synthèse préliminaire des données chauves-souris sur les sites Natura 2000 « Marais / Tourbière de Valdo et Baglietto* »

→ 9 espèces inventoriées, dont 2 inscrites en annexe II & IV de la Directive Habitat



- ▶ 2002, DIREN, Grisoni « *Etudes préliminaires de trois espèces de la Directive Habitat : la Cistude* »

→ 25 individus contactés, mesurés et marqués sur les 2 sites



- ▶ 2014, ONF réseau entomologie « *Résultats des échantillonnages coléoptères saproxyliques 2012-2014* »

→ Pose de 2 Pièges Polytraps, identification de 3 espèces « très rares », 6 « jamais abondantes » (indice patrimonial selon Brustel)

- ▶ 2016, ONF réseau herpétologie « *Suivi du peuplement de squamates et de tortue – Rapport d'observation 2015-2016* »

→ Mise en place de plaques refuges, inventaire par transect: 6 espèces contactées dont tortue d'Hermann & Cistude



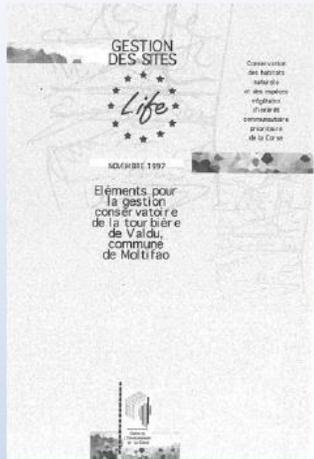


Hydrologie



- ▶ 1995, Ferrandini « *Etude hydrogéologique de la tourbière de Valdo* »
 - Premières caractéristiques de la nappe libre et de l'alimentation de la tourbière
- ▶ 1997, Laitung « *Les tourbières de Valdu et de Bagliettu: un paysage eurosibérien en Corse méditerranéenne* »
 - Analyse eau / sol (PH, ions, cations), confirmation de l'influence de la décharge sur l'eau de la tourbière
- ▶ 1997 Roché « *Etude hydrologique succincte de la tourbière de Valdo* »
 - Analyses physico-chimique comparables eau de Valdu et Asco + faible amplitude thermique de la tourbière
- ▶ 2001, RTM « *Protection des berges de l'Asco, commune de Moltifao* »
 - Evaluation des menaces vis-à-vis de la tourbière, préconisation de renforcement des berges
- ▶ 2014, BRGM « *Etude Hydrogéologique de la tourbière de Valdu* »
 - Forage, pose de piézomètres et échelles limnimétriques
 - Caractérisation du fonctionnement hydraulique, mesures physico-chimiques (PH, TC°, Conductivité électrique)
 - Relevés pédologiques
- ▶ 2018-2019, Santoni « *Hydrogéologie et résilience climatique de la tourbière de basse altitude de Moltifao* »
 - Piézométrie, mesure de paramètres physico-chimiques, prélèvements (*Etude toujours en cours*)

Etudes de gestion conservatoire



- ▶ 1997, AGENC, Laitung, Guyot « Eléments pour la gestion conservatoire de la tourbière de Valdu »
 - Synthèse et mise en relation des études scientifiques réalisées
 - Etablit grandes lignes d'une gestion conservatoire
 - Problématiques ciblées : Eau (quantité /qualité), fermeture du milieu, pollution décharge
 - Envisage le statut de RBD
- ▶ 2001, ONF « Dossier de création et plan de gestion de la Réserve Biologique Dirigée de Valdu 2001-2013 »
 - Problématiques ciblées : Apports hydriques, érosion des berges, EEE (Ailante), fermeture du milieu
 - Actions : Contrôle de l'eau, suivi espèces rares, dispositifs expérimentaux, accueil du public
- ▶ 2003, ONF « DOCOB du site Natura 2000 FR 9400618 Marais et tourbière du Valdo et de Baglietto » (non validé)
 - Problématiques ciblées: Préservation des espèces-habitats, érosion des berges, fermeture du milieu (tourbière)
 - Fiches action: Connaissance espèces, protection des berges, contrôle progression ligneux, accueil du public