

# HydrArchive-LAG : Existe-t-il un archivage hydrogéologique des ruptures hydrosystémiques qualitatives brutales au sein du bassin versant de Biguglia ?

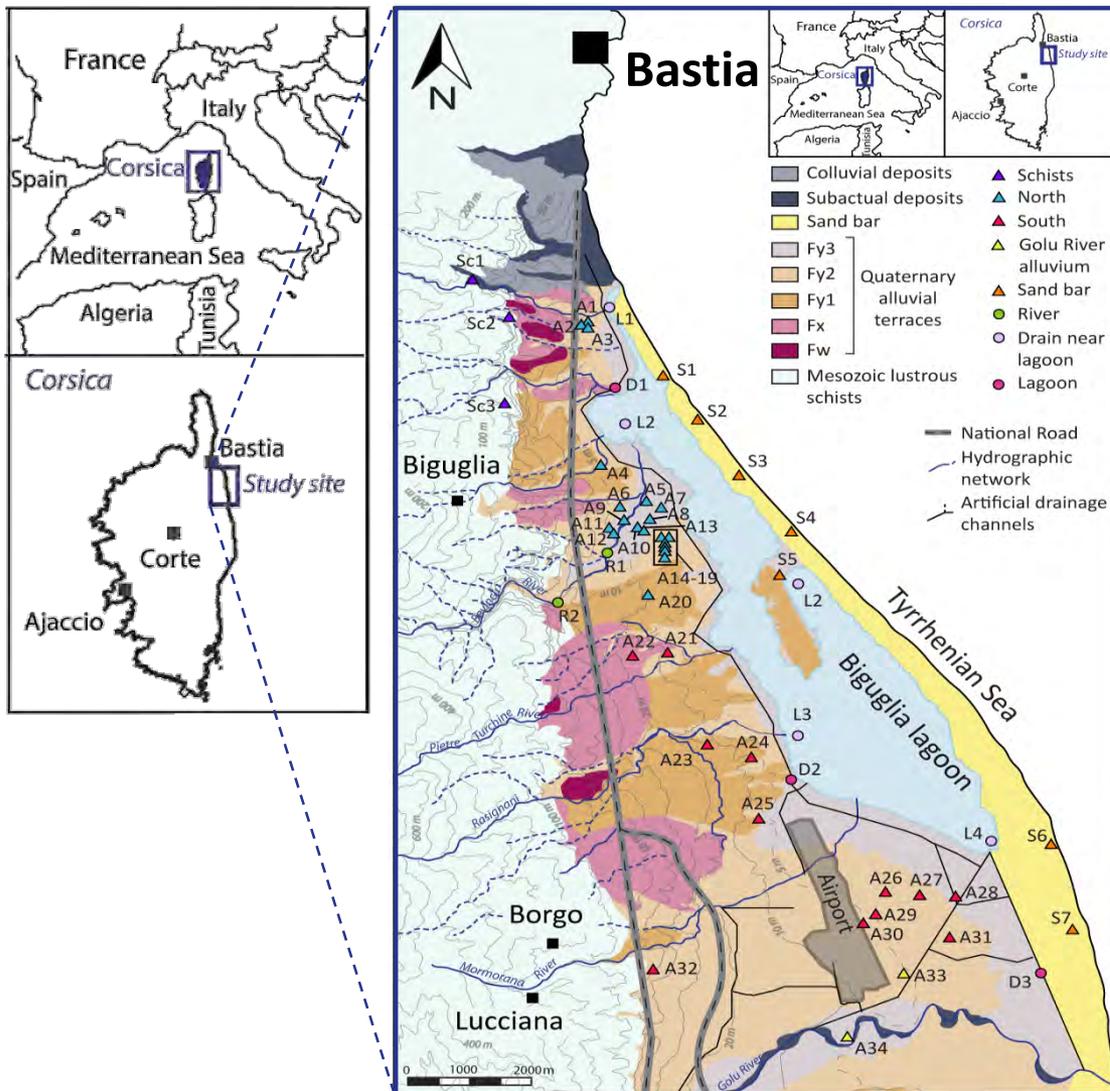


**M. Erostate**<sup>1</sup>, F. Huneau<sup>1</sup>, E. Garel<sup>1</sup>, V. Pasqualini<sup>1</sup>, S. Robert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Corse, UMR CNRS 6134 SPE, France, [erostate\\_m@univ-corse.fr](mailto:erostate_m@univ-corse.fr)

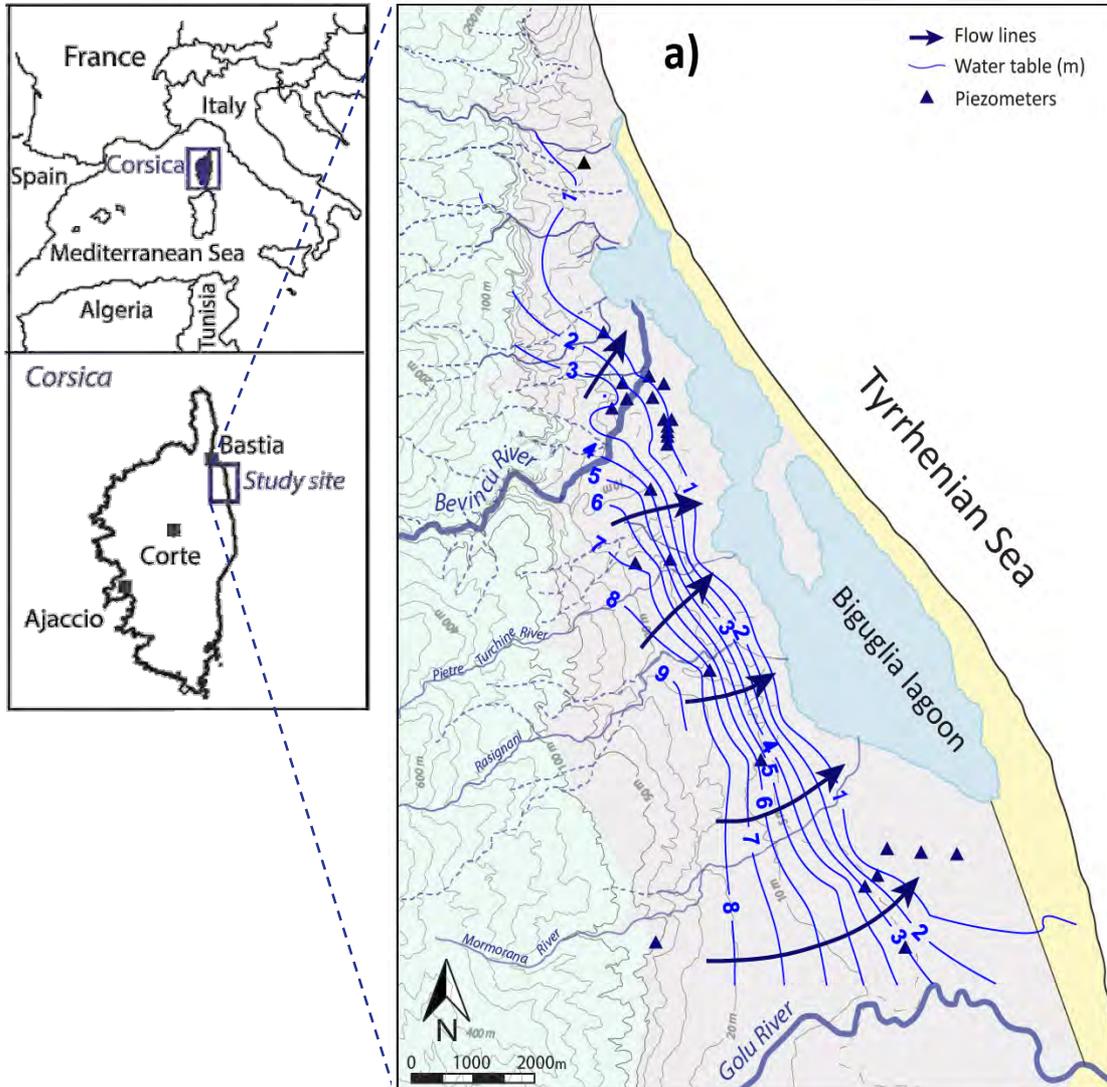
<sup>2</sup>Aix-Marseille Université, UMR CNRS 7300 ESPACE, France

# La lagune de Biguglia



- ❖ Laboratoire d'Excellence CNRS : Labex DRIIHM
- ❖ Plus grande zone humide de Corse: 14,5 km<sup>2</sup>
- ❖ 1990 : Classée RAMSAR (migration des oiseaux)
- ❖ 1994 : Réserve naturelle
- ❖ Peu profonde: 0,8 - 2 m

# La lagune de Biguglia



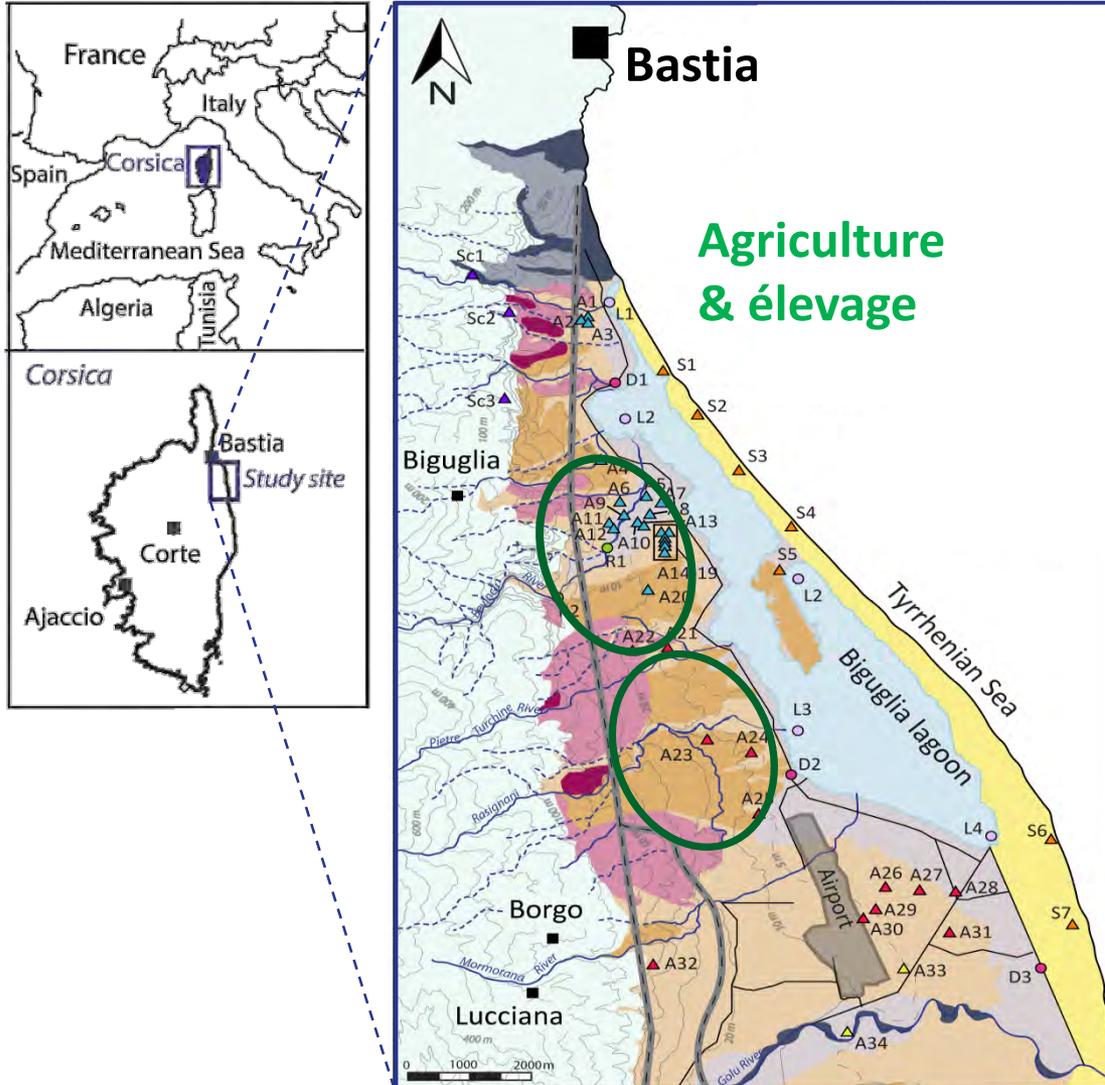
**Ecosystème dépendant  
des eaux souterraines**

**&**

**Hydrosystème  
fortement vulnérable**

❖ Interface eau salée/eau douce

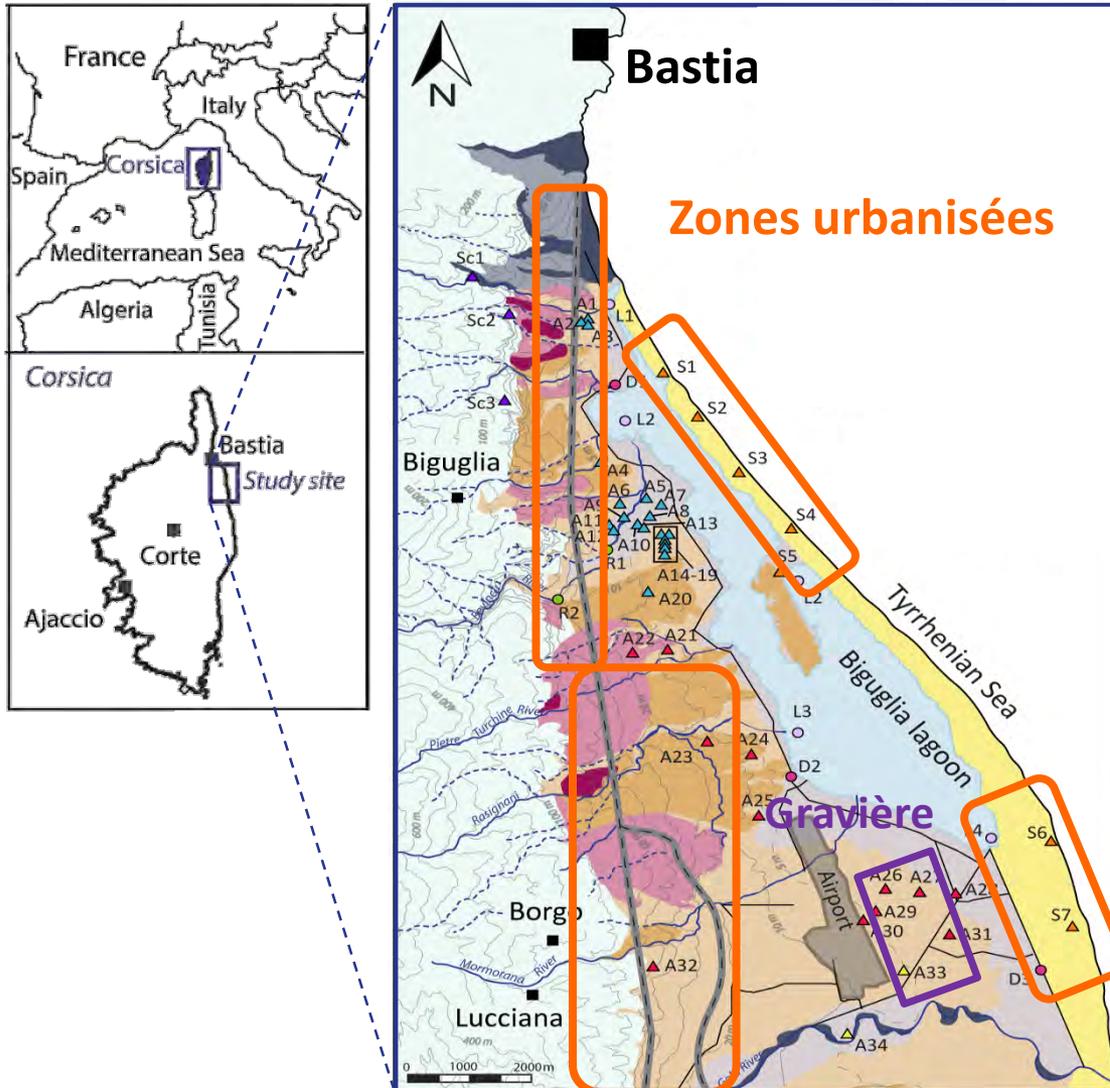
# La lagune de Biguglia



## Hydrosystème fortement vulnérable

- ❖ Interface eau salée/eau douce
- ❖ Agriculture

# La lagune de Biguglia



## Hydrosystème fortement vulnérable

- ❖ Interface eau salée/eau douce
- ❖ Agriculture
- ❖ Urbanisation croissante

# La lagune de Biguglia

→ **L'écosystème de la lagune de Biguglia** est ...

- une **zone d'intérêt écologique majeur** (nationalement & internationalement)
  - une **zone d'intérêt économique** importante (pêche, ostréiculture, mytiliculture, tourisme)
- ... **dépendant des eaux souterraines des aquifères de la plaine de la Marana,**
- soumises à de **fortes pressions anthropiques & des conflits d'usage**
    - dont la compréhension du **fonctionnement s'améliore.**

- ❖ Développer et optimiser les performances de datations au radiocarbone pour préciser les temps de séjours des eaux et les conditions d'infiltration
- ❖ Identification de phénomènes de rupture écologiques et hydrologiques enregistrés par l'hydrosystème
- ❖ Corrélation entre dégradation qualitative observées dans les eaux souterraines et historique des pratiques sur le bassin versant



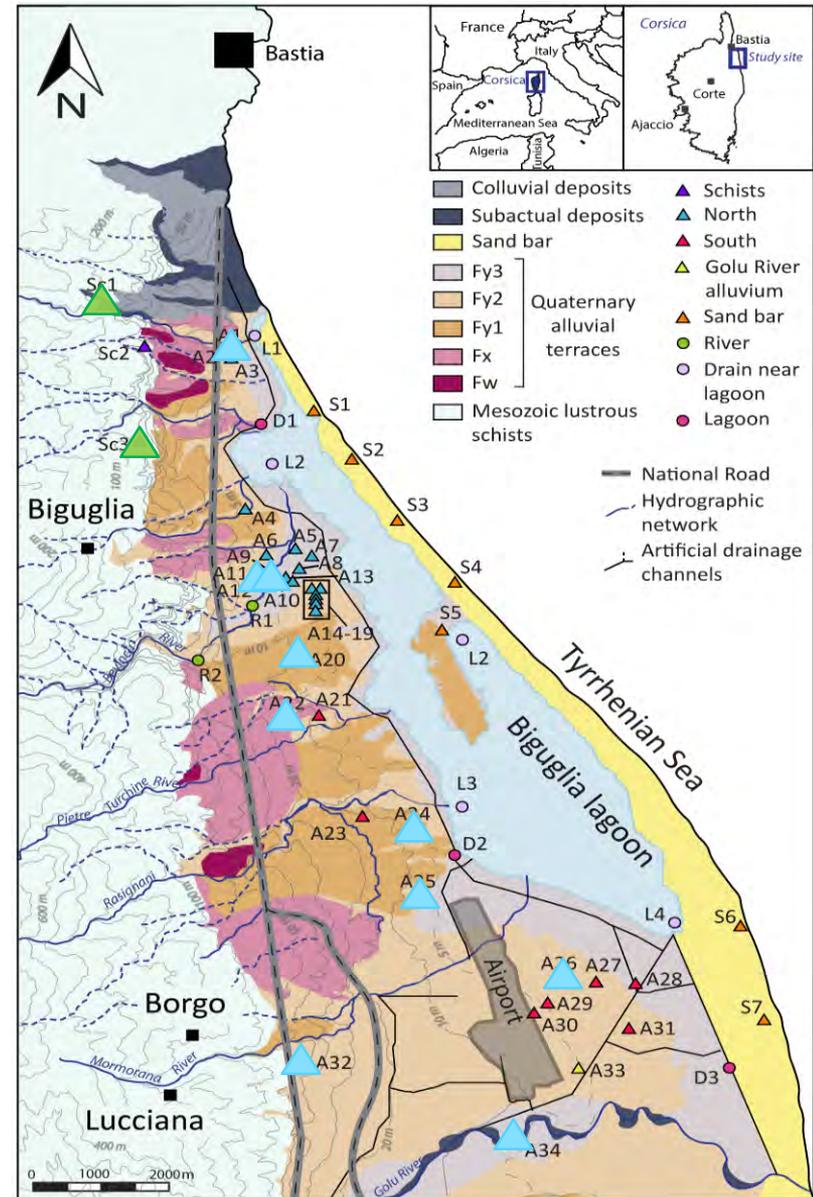
# Hydrarchive-Lag

## ❖ 12 points d'échantillonnage dans les eaux souterraines :

- 2 dans les schistes
- 10 sur l'ensemble de la nappe

## ❖ Données exploitées :

- Géochimie : éléments majeurs et traces
- Radioéléments :  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$



# Teneurs en $^3\text{H}$ et activités $^{14}\text{C}$

## ❖ $^3\text{H}$ : isotope radioactif de l'hydrogène

- Rejeté dans l'atmosphère lors des essais nucléaires aériens (de 1945 à 1963)
- Marqueur anthropique récent : **datation jusqu'à 70 ans**
- Eaux de surface :  $^3\text{H} > 3 \text{ UT}$
- Décroissance progressive des teneurs en  $^3\text{H}$  après infiltration : **estimation des temps de transit des eaux dans l'aquifère**



## ❖ $^{14}\text{C}$ : isotope radioactif du carbone

- Détermination de l'âge pour les études archéologique, paléo climatiques, paléo sédimentaires ou paléo hydrologiques: datation **jusqu'à 40 000 ans**
- **Outil complémentaire de traçage des eaux à très long temps de résidence**
- Analyse du carbone des bicarbonate dissous  $\text{HCO}_3^-$



# Activité $^{14}\text{C}$ et datation

## ❖ Principe de la méthode :

1. Eau de surface avec une signature  $^{14}\text{C}$  égale à celle de l'atmosphère  
*Actuellement  $\approx 104 \text{ pmC}$*
2. Infiltration dans le souterrain  $\rightarrow$  Arrêt des échanges avec l'atmosphère
3. Enregistrement de « l'activité initiale » en  $^{14}\text{C}$  atmosphérique au moment de l'infiltration
4. Décroissance du radiocarbone connue
5. Mesure actuelle de l'activité  $^{14}\text{C}$  et équation de décroissance connue  $\rightarrow$  **calcul de l'activité initiale** au moment de l'infiltration et définition d'un **âge apparent**

**Activités  $^{14}\text{C}$  impactées par différents processus chimiques et physiques**

**$\rightarrow$  Besoin de correction avec le  $^{13}\text{C}$  et de corrélation avec d'autres traceurs**

$$k_{\text{F\&G}} \approx \frac{(A_g - A_c)(\delta_T(a+b) - (a+0,5.b)\delta_g - 0,5.b.\delta_c)}{(\delta_g - \varepsilon - \delta_c)(a+b)}$$

*Modèle de correction de Fontes & Garnier*

$$A_{0\text{-AIEA}} = \frac{(\delta_T - \delta_c)(A_g - A_c) + (\delta_g - \varepsilon_{g-b} - \delta_c)A_c}{(\delta_g - \varepsilon_{g-b} - \delta_c)}$$

*Modèle de correction de l'AIEA*

# Corrélation $^{14}\text{C}$ & $^{13}\text{C}$ : conditions de recharge

- ❖  $\delta^{13}\text{C}$  : utilisé préférentiellement par les végétaux, et microorganismes présents dans le sol
  - Aquifère en système ouvert : échanges avec la surface :  $\delta^{13}\text{C}$  sol  $\approx -15$  ‰
  - Aquifère en système fermé : pas d'échange avec la surface :  $\delta^{13}\text{C}$  sol  $< -15$  ‰

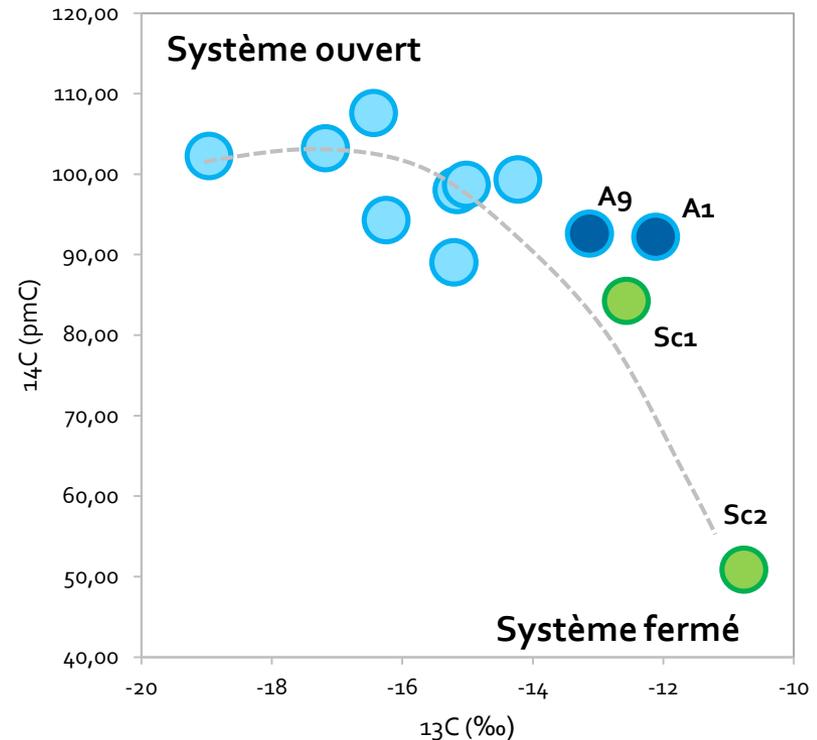
- ❖ Valeurs proches de l'activité  $^{14}\text{C}$  atmosphérique &  $\delta^{13}\text{C}$   $\approx 15$  ‰ → Infiltration « récente », système ouvert

→ Majorité des eaux de la plaine alluviale

- ❖ Activités  $^{14}\text{C}$  plus faibles &  $\delta^{13}\text{C} < 15$  ‰ → Eaux plus anciennes, système fermé

→ Eaux prélevées dans les schistes

- ❖ Valeurs intermédiaires A1 et A9  
→ Eaux résultant d'un mélange



# Activité $^{14}\text{C}$ et datation

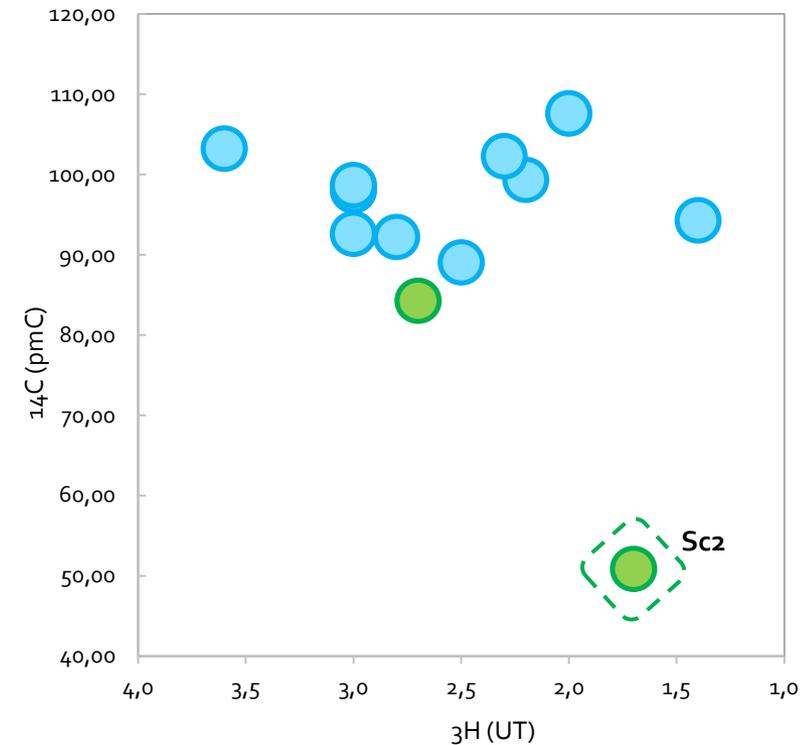
- ❖ Cohérence globale entre activités en  $^{14}\text{C}$  et âges apparents estimées précédemment (*Erostate et al., 2018*)
  - Activités  $^{14}\text{C}$  diminuent quand le temps de résidence augmente
- ❖ Relation complexe entre activités  $^{14}\text{C}$  et âges chiffrés :
  - $^{14}\text{C}$  impacté par de nombreux processus
  - Eaux résultant d'un mélange
  - Difficile d'estimer l'activité initiale & donc les âges apparents
- ❖ Encore un important travail de mise en équation et de corrélation avec différents traceurs/outils

	Activités $^{14}\text{C}$ (pmC)	Âges apparents estimés $^3\text{H}$ , CFCs (ans)
Sc1	85.35	-
Sc2	51.61	41
A1	93.44	9
A2	99.01	-
A3	100.43	16
A4	89.95	-
A5	104.05	5
A6	95.15	44
A7	108.56	23
A8	102.90	34
A9	93.74	16
A10	99.70	4

# Comparaison des outils de datation

## ❖ Eaux les plus anciennes Sc2:

- Faible activité  $^{14}\text{C}$  mais teneur en  $^3\text{H}$  significative
- Résultent donc d'un mélange avec des eaux plus jeunes : pas de « **pôle ancien** » absolu



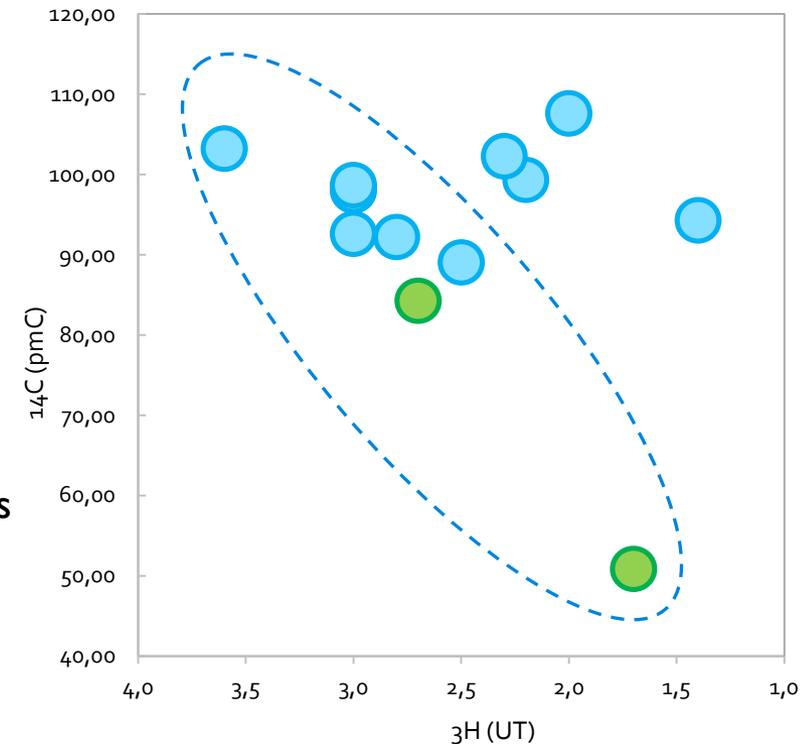
# Comparaison des outils de datation

## ❖ Eaux les plus anciennes Sc2:

- Faible activité  $^{14}\text{C}$  mais teneur en  $^3\text{H}$  significative
- Résultent donc d'un mélange avec des eaux plus jeunes : pas de « pôle ancien » absolu

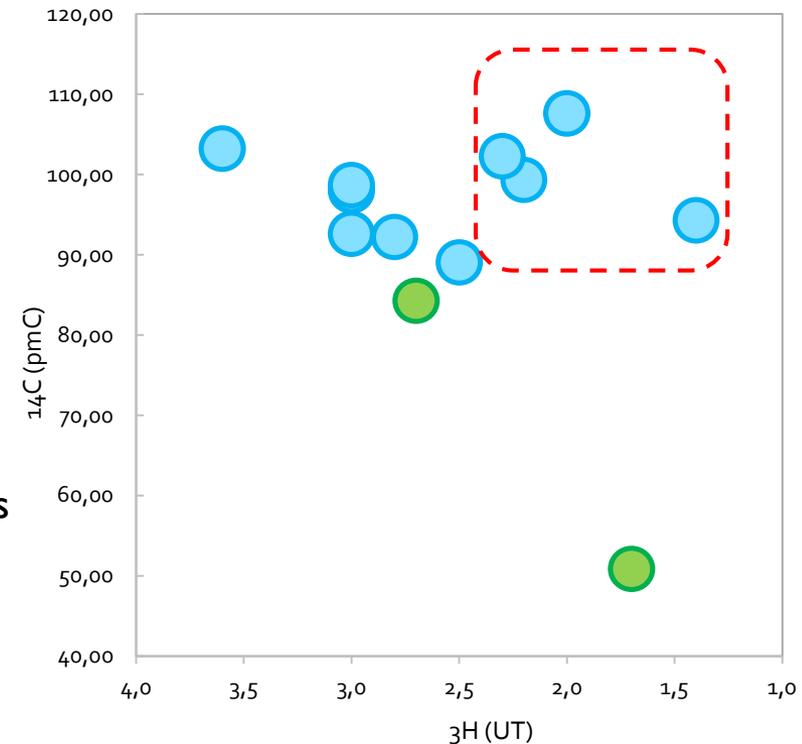
## ❖ Bonne corrélation entre activités en $^{14}\text{C}$ et teneurs en $^3\text{H}$ :

- Activités  $^{14}\text{C}$  et teneurs  $^3\text{H}$  diminuent avec l'augmentation du temps de résidence
- Mélange eaux infiltration récente/eaux des schistes



# Comparaison des outils de datation

- ❖ Eaux les plus anciennes Sc2:
  - Faible activité  $^{14}\text{C}$  mais teneur en  $^3\text{H}$  significative
  - Résultent donc d'un mélange avec des eaux plus jeunes : pas de « pôle ancien » absolu
- ❖ Bonne corrélation entre activités en  $^{14}\text{C}$  et teneurs en  $^3\text{H}$  :
  - Activités  $^{14}\text{C}$  et teneurs  $^3\text{H}$  diminuent avec l'augmentation du temps de résidence
  - Mélange eaux infiltration récente/eaux des schistes
- ❖ Exception des points du centre de la plaine
  - Activités  $^{14}\text{C}$  fortes mais teneurs  $^3\text{H}$  faibles



- **Signatures  $^3\text{H}$  atypiques** : recharge par des pluies hivernales
- Mise en évidence de phénomène de **rupture saisonnière de la recharge**

$^{14}\text{C}$  $^3\text{H}$  / CFCs $\mu$ polluantEaux « anciennes »  
Système ferméInfiltration d'eau récente – Recharge majoritaire par la rivière  
Système ouvertFlux infiltra.  
rapide

Naturel

Lessivage des  $\text{NO}_3^-$ 

Fuites réseaux assainissement

Habitudes  
de conso.

Modification des pratiques agricoles – Urbanisation croissante

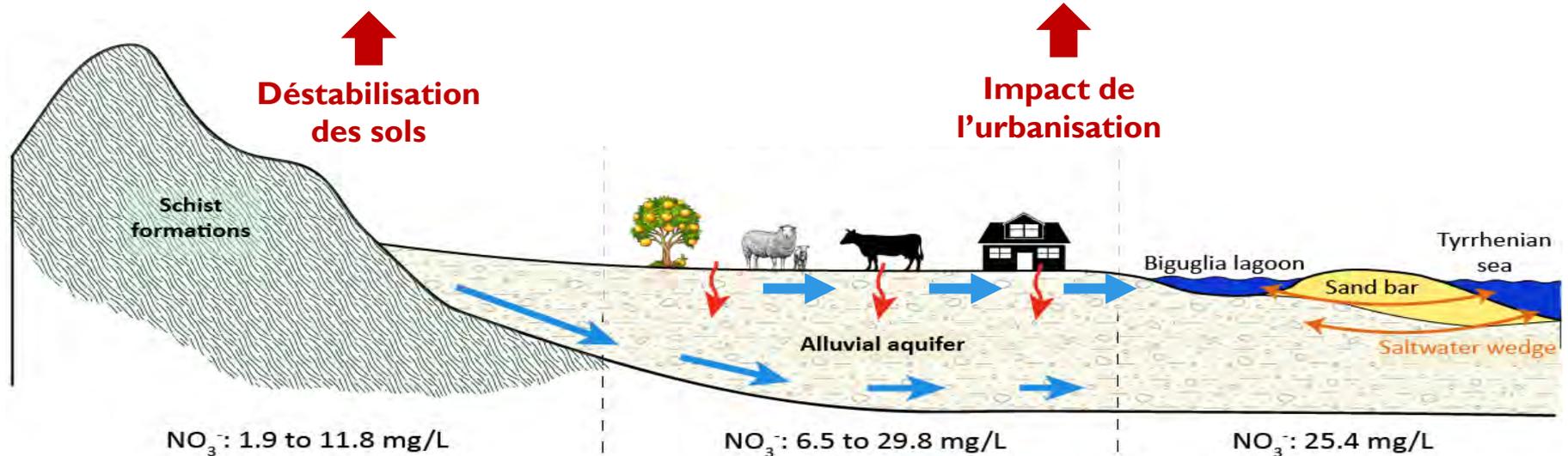
1950

1970

1990

2010

2018



## Avancées scientifiques

- **Ensemble des projets OMH → Amélioration de la compréhension** globale de l'hydrosystème de la lagune de Biguglia
  - Interaction eaux souterraines/surfaces
  - Localisation des zones de recharge et identification des pôles de mélange dans l'aquifère
  - Identification des impacts anthropiques et cadrage temporel
  - Temps de résidence moyen
- **HydrArchive-Lag :**
  - Conditions de recharge
  - Mise en évidence de **phénomènes de rupture saisonnière** dans le processus de recharge
  - Première **corrélation très encourageante** mais encore à préciser pour mieux contraindre les temps de séjours

## Perspectives

- Vers un calcul **d'âges apparents** :
  - Précision des processus impactant l'activité  $^{14}\text{C}$  et les teneurs en  $^3\text{H}$
  - Utilisation de modèle type LPM
- **Quantification les apports en eaux souterraines** à la lagune
- Réalisation d'un **modèle d'écoulement** synthétisant l'ensemble des avancées réalisées



Collectivité Territoriale de  
**CORSE**  
Cullettività Territoriale di  
**CORSICA**

# Merci de votre attention !



## Projets structurants

2014 **URBA-Lag** : Carte de vulnérabilité

2015 **HYDROGEO-Lag** : Fonctionnement global de l'hydrosystème

2016 **NITRO-Lag** : Pollutions anthropiques & temps de résidence

2017 **μPOL-Lag** : Marquage de l'anthropisation & traçage des flux d'infiltration rapide par les polluants émergents

..... **Début de thèse**

2018 **HydrArchive-Lag**: Temps de résidence, processus de mélange et conditions d'infiltration

..... **Ar<sup>14</sup>Chive**: Bourse Mitacs/Campus France, Polytechnique Montréal

2019 **Micro-Lag**: Impact touristique saisonnier, approche comparée Balagne/Biguglia

## Valorisation

### Publications & chapitres:

**Erostate** et al. soumis in J. of Hydro

**Jaunat** et al. 2018 in STOTEN

**Erostate** et al. 2018 in STOTEN

**Erostate** et al. 2017 in Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean Area

### Congrès internationaux:

**Erostate** et al. 2019, EGU, Vienne (Autriche)

**Erostate** et al. 2018, RST, Lille

**Erostate** et al. 2017, IAH congress Grenade (Espagne)

**Garel** et al. 2017, 44<sup>ème</sup> congress of IAH, Dubrovnik (Croatie)

### Communications nationales:

**Erostate** et al. 2018, Séminaire annuel OHM, Marseille

**Erostate** et al. 2018, Lettre des lagunes, Tour du Vallat

**Erostate** et al. 2017, Lettre des lagunes, Tour du Vallat

## Pour en savoir plus...

**M. EROSTATE**, F. HUNEAU, E. GAREL, M. F. LEHMANN, T. KUHN, L. AQUILINA, V. VERGNAUD-AYRAUD, T. LABASQUE, S. SANTONI, S. ROBERT, D. PROVITOLLO, V. PASQUALINI, (*submitted*). Delayed nitrate dispersion within a coastal aquifer provides constraints on land-use evolution and nitrate contamination in the past, *Sc. Of Total Env.*

**M. EROSTATE**, E. GAREL, F. HUNEAU, V. PASQUALINI, 2017. Delineating the aquifer role in the anthropogenic fingerprint on the groundwater dependent ecosystem of the Biguglia Lagoon (Corsica, France). In: *Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean Area*, M.L. Calvache et al. (eds.), Environmental Earth Sciences.

**M. EROSTATE**, E. GAREL, F. HUNEAU, V. PASQUALINI, 2017. Sustainable management of an insular groundwater-dependent ecosystem: lessons learnt from the Biguglia lagoon (Corsica, France). Symposium et école d'été du Réseau d'Excellence des Territoires Insulaires (RETI), Okinawa (Japon), Novembre 2017. (Oral presentation)

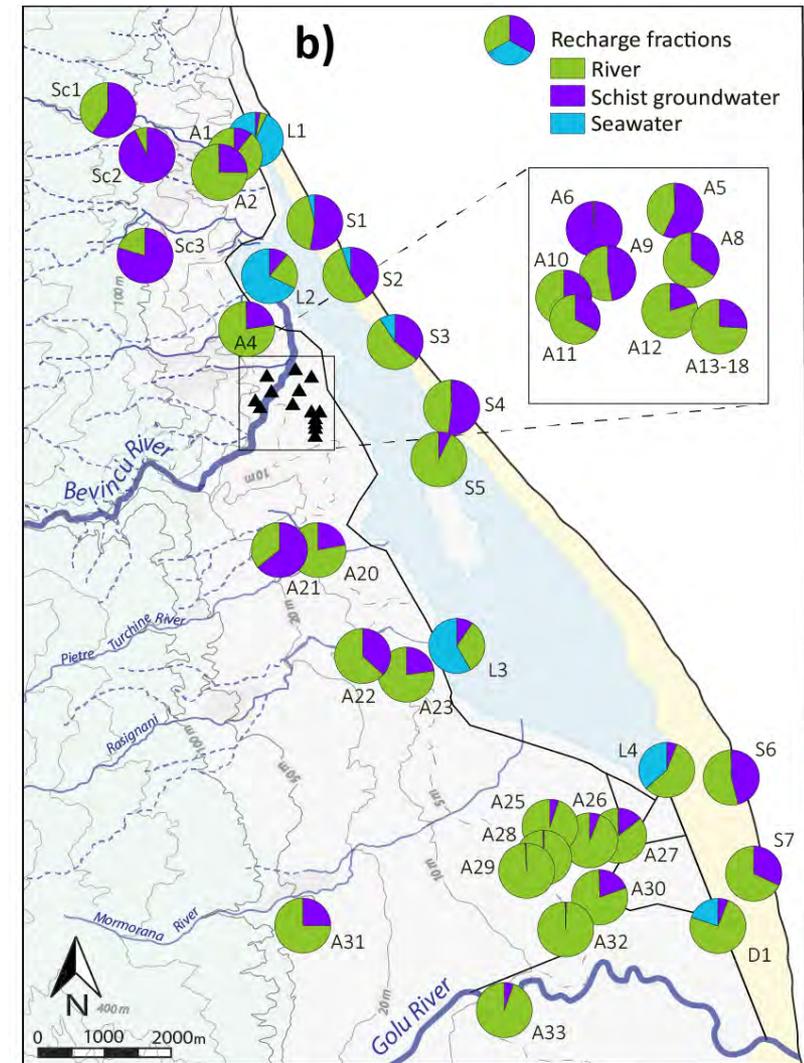
**M. EROSTATE**, E. GAREL, F. HUNEAU, V. PASQUALINI, 2017. Delineating the aquifer role in the anthropogenic fingerprint on the groundwater dependent ecosystem of the Biguglia Lagoon (Corsica, France). International Association of Hydrogeologist (IAH) congress on groundwater and global change in the western Mediterranean, Grenade (Espagne), Novembre 2017.

E. GAREL, **M. EROSTATE**, F. HUNEAU, D. PROVITOLLO, H. CELLE-JEANTON, 2017. Groundwater-socio dynamic of a coastal system: A paradigm key for the resilience of a lagoon ecosystem. 44<sup>ème</sup> congress of International Association of Hydrogeologist (IAH), Dubrovnik (Croatie), Septembre 2017. (Poster)

**M. EROSTATE**, F. HUNEAU, E. GAREL, 2017. Vulnérabilité des eaux souterraines de l'étang de Biguglia (Corse, France). *Lettre des lagunes*, Tour du Vallat, 2017.

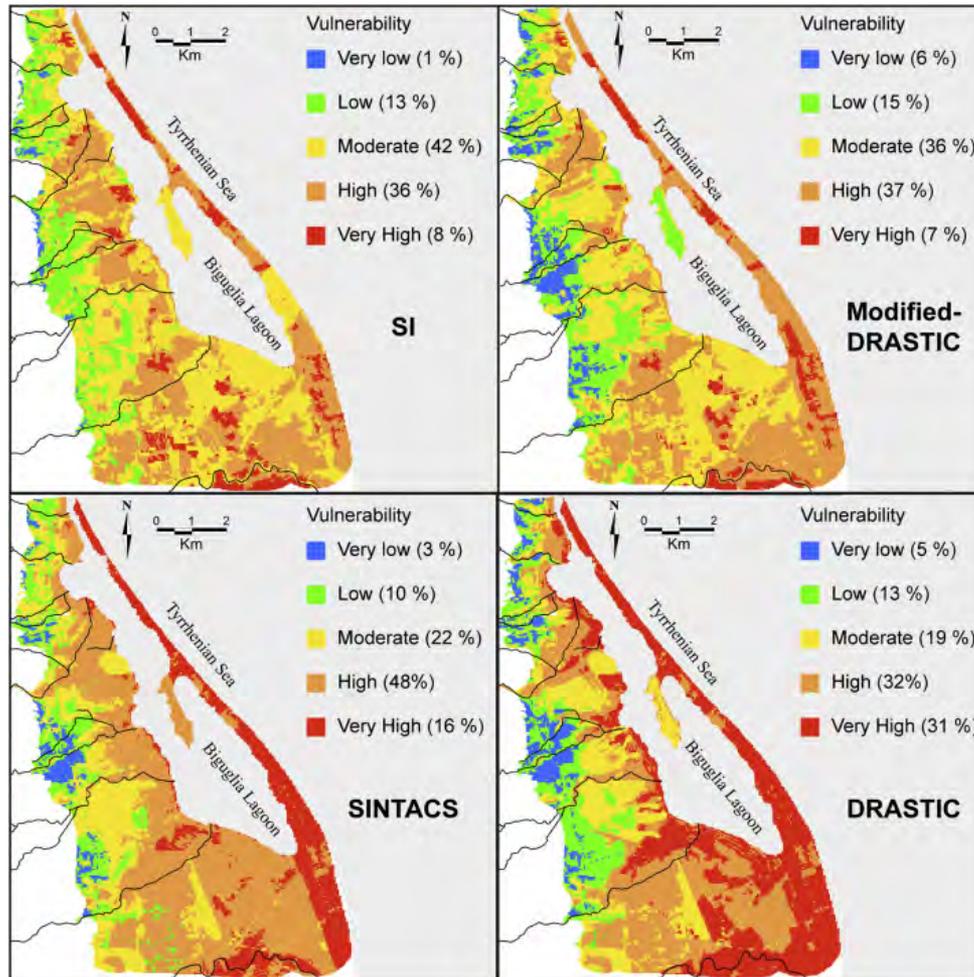
# HYDROGEO-Lag: Fonctionnement global de l'hydrosystème

- ❖ **Première caractérisation** géochimique et isotopique des eaux souterraines
- ❖ **Identification des zones de recharge:**
  - Allochtone : contre fort schisteux
  - Autochtone: plaine alluviale
- ❖ **Faciès géochimique:**
  - Identification dans différents pôles de mélange
  - Mise en avant des impacts anthropiques
- ❖ **Quantification des mélanges**



Erostate *et al.*, 2019, soumis in J.ofHydro

# HYDROGEO-Lag: Fonctionnement global de l'hydrosystème



## ❖ 4 méthodes utilisées :

- DRASTIC & SINTACS (vulnérabilité intrinsèque)
- DRASTIC modifiée & SI (vulnérabilité spécifique)

## ❖ Zones vulnérables :

- Lido
- Embouchure Bevincu
- Rive Nord du Golu
- Rive de la lagune

## ❖ Résultats confirmés par les teneurs en nitrates élevées

Jaunat *et al.*, 2018, in Science of the Total Environment

# NITRO-Lag: Pollution anthropique & temps de résidence

## ❖ Caractérisation de l'impact anthropique :

- Concentration en  $\text{NO}_3^-$  supérieures au bruit de fond géochimiques
- Impact anthropique, surtout au Sud de la plaine

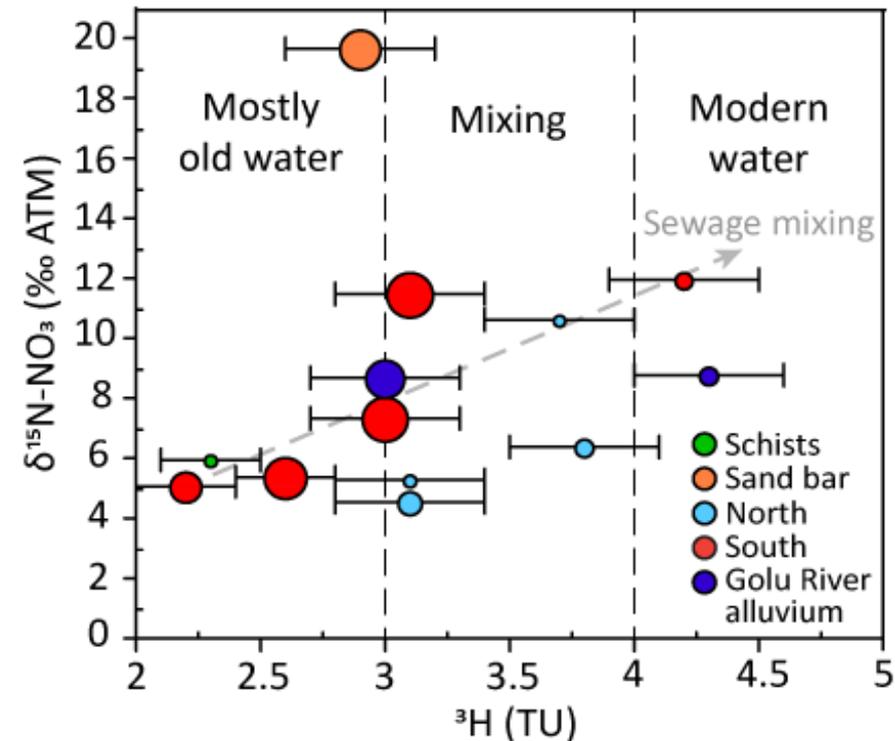
## ❖ Archivage des pollutions :

- Concentrations en  $\text{NO}_3^-$  augmentent avec le temps de résidence des eaux

## ❖ Héritage des pollutions nitratées

## ❖ Identification des sources de pollution :

- Eaux usées, fuites sur le réseau d'assainissement
- Déstabilisation des sols important au cours du dernier siècle



Erostate *et al.*, 2018, in Science of the Total Environment

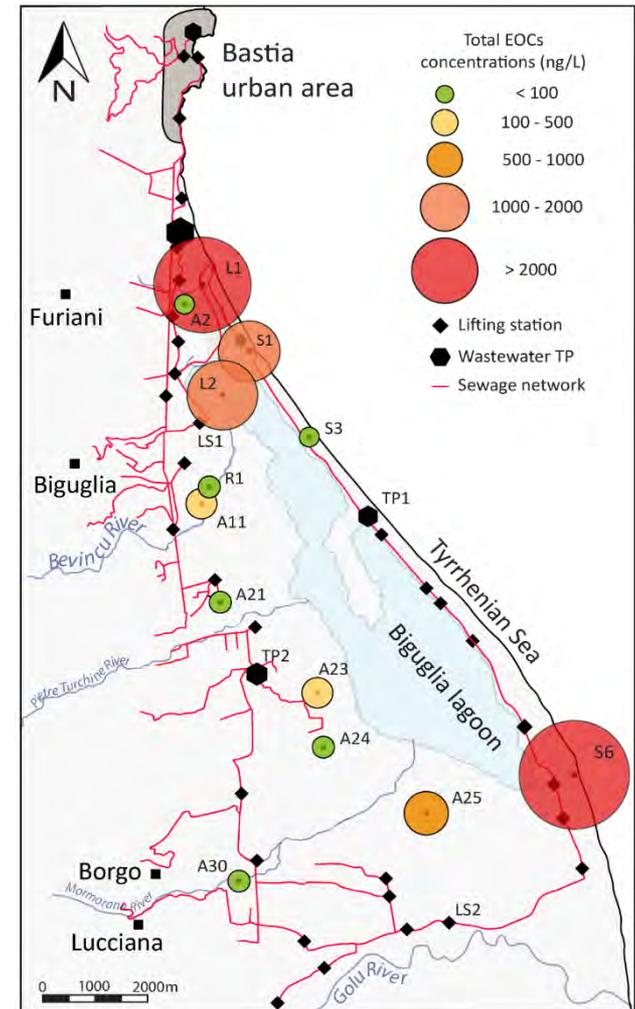
# μPOL-Lag: Polluants émergents et traçage hydrologique

## ❖ Caractérisation des polluants émergents présents dans le système et des concentration

- Polluant d'usage domestique : habitude de consommation impact de l'urbanisation
- Concentration relativement faibles → dégradation en cours
- Dégradation sur l'ensemble de la plaine

## ❖ Traçage hydrologique

- Identification des aires de recharges
- Traçage de flux d'infiltration rapide
- Type de pollution



# Pôles de mélange & temps de résidence



Delayed nitrate dispersion within a coastal aquifer provides constraints on land-use evolution and nitrate contamination in the past

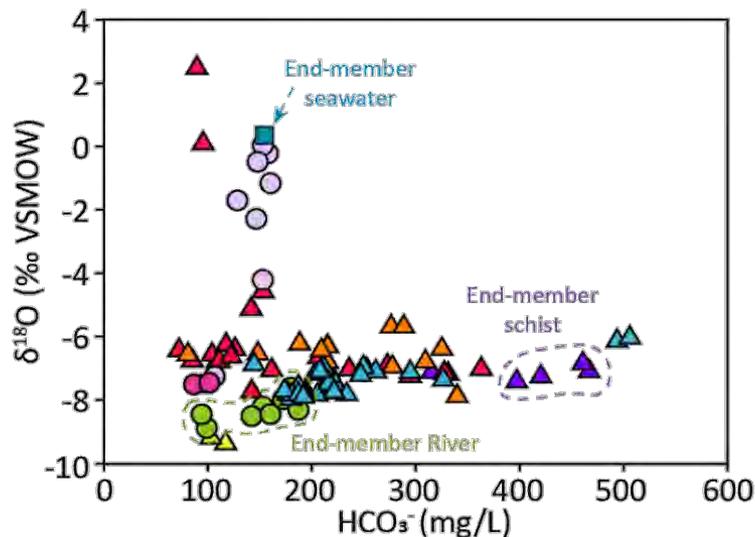
M. Erostate<sup>a,b</sup>, F. Huneau<sup>a,b,c</sup>, E. Gareil<sup>a,b</sup>, M.F. Lehmann<sup>c</sup>, T. Kuhn<sup>c</sup>, L. Aquilina<sup>d</sup>, V. Vergnaud-Ayraud<sup>d</sup>, T. Labasque<sup>e</sup>, S. Santoni<sup>a,b</sup>, S. Robert<sup>c</sup>, D. Provitolo<sup>f</sup>, V. Pasqualini<sup>a,b</sup>

## ❖ Identification & quantification des pôles de recharge de l'aquifère:

- Eaux de surfaces (Bevincu & Golu)
- Eaux en provenance des contreforts schisteux (Corse alpine)

## ❖ Evaluation des temps de séjours moyens : $^3\text{H}$ , CFCs, SF<sub>6</sub> (Erostate et al. 2018)

→ Temps de résidence courts



	$^3\text{H}$ (UT)	Âges apparents estimés (ans)
Sc1	$2.3 \pm 0.2$	41
A1	$3.8 \pm 0.3$	9
A2	$3.1 \pm 0.3$	16
A3	$3.1 \pm 0.3$	16
A4	$3.7 \pm 0.3$	10
A5	$4.2 \pm 0.3$	5
A6	$2.2 \pm 0.2$	44
A7	$3.0 \pm 0.3$	23
A8	$2.6 \pm 0.2$	34
A9	$3.1 \pm 0.3$	16
A10	$3.0 \pm 0.3$	23
A11	$4.3 \pm 0.3$	4
S1	$2.9 \pm 0.3$	26