

WP 2.7 Capteurs biogéochimiques

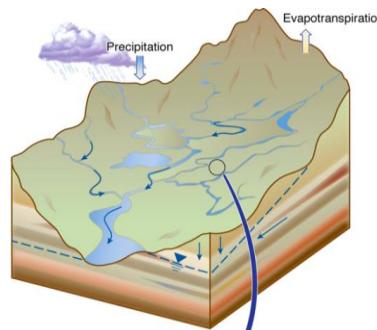
Réseaux de capteurs et préleveurs autonomes pour le monitoring des interactions bactéries-fluides-minéraux

29/04/2022

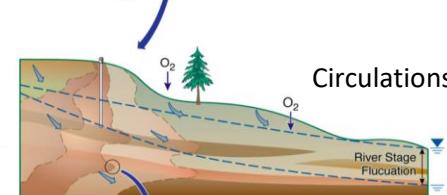
Terra Forma



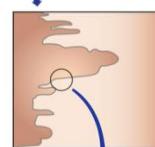
WP 2.7 Biogeochemical sensors



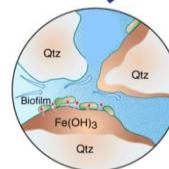
Cycles et flux dans la zone critique



Circulations



Gradients biogéochimiques



Communautés microbiennes,
réactivité

Questions

- Hot spots et hot moments** : quel est l'impact des processus hydrologiques et géochimiques (écoulement, transport réactif, fluctuations hydrologiques) sur la dynamique et la distribution des micro-organismes ?
- Interactions biotique-abiotique** : quel est le rôle des micro-organismes dans l'altération des roches ?
- Flux biogéochimiques** : quel est le rôle des micro-organismes dans les flux biogéochimiques entre la surface et le milieu souterrain ?

Tâche 1 Micro-sensors: capteurs in situ O_2 , pCO_2 , H_2 , H_2S , N_2O , NO

Tâche 2 Lab on chip: mesures in situ de nutriments (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+), minéraux dissous (Fe^{2+} , Fe^{3+} , silice), ATP (adenosine triphosphate)

Tâche 3 Biosampler: échantillonnage automatique in situ de micro-organismes

Tâche 4 Biogeophysics: suivi géophysique de l'activité microbiologique

WP 2.7 Biogeochemical sensors

Planning et implications des personnels permanents prévus dans le projet

Tanguy Le Borgne	CNAP	UNIV RENNES 1	GR	Hydrogéologie et transport réactif
Camille Bouchez	CNAP	UNIV RENNES 1	GR	Hydrogéologie et biogéochimie
Nicolas Lavenant	IE	CNRS	GR	développements capteurs
Francesco Gomez	IE	CNRS	GR	développements capteurs
Thierry Labasque	IR	CNRS	GR	capteurs chimiques
Eliot Chatton	IR	CNRS	GR	capteurs chimiques
Luc Aquilina	PR	UNIV RENNES 1	GR	Géochimie
Florence Nicollin	Mcf	UNIV RENNES 1	GR	Géophysique
Vincent Raimbault	CR	CNRS	LAAS	Microfluidique
Damien Jougnot	CR	CNRS	METIS	Biogéophysique
Alexis Dufresne	CR	CNRS	ECO	Microbiologie environnementale
Alexandrine Pannard	MCF	UNIV RENNES 1 UNIV PARIS	ECO	Microbiologie environnementale
Bénédicte Menez	PR	DIDEROT INST PHYSIQUE	IPGP	Géomicrobiologie
Emmanuel Gerard		DU GLOBE DE PARIS	IPGP	Géomicrobiologie
Céline Pisapia	MCF	UNIV PARIS DIDEROT INST PHYSIQUE	IPGP IPGP	Géomicrobiologie
Hélène Bouquerel	IE	DU GLOBE DE PARIS		Géomicrobiologie
Hervé Tabuteau (IPR)	CR	CNRS	IPR	Microfluidique



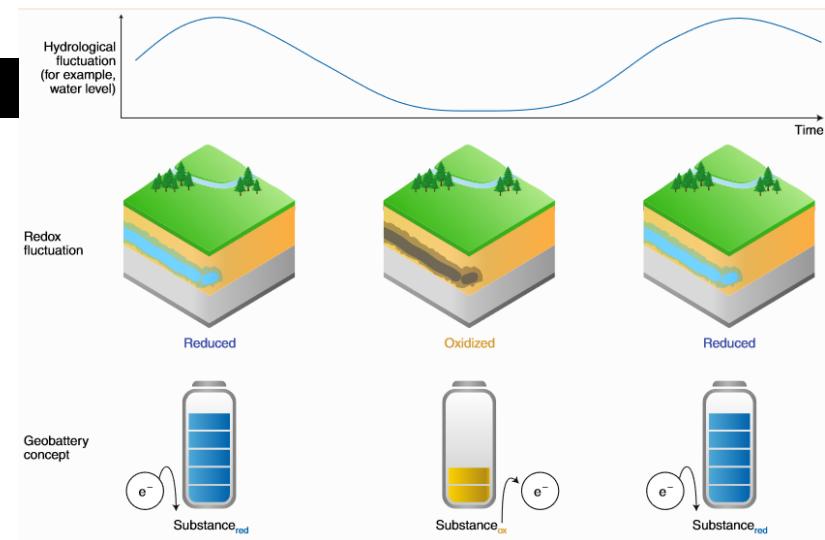
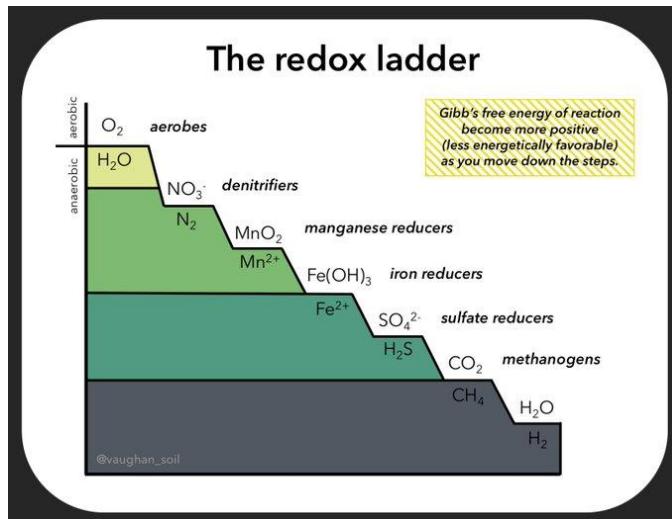
WP2.7 Micro-sensors

O_2 , pCO_2 , H_2 , H_2S , N_2O , NO

WP 2.7 Biogeochemical sensors – micro-sensors

Coordination: C. Bouchez, E. Chatton

Objectif: Suivi haute fréquence de paramètres biogéochimiques (O_2 , pCO_2 , H_2 , H_2S , N_2O , NO) – réactions redox !



Peiffer et al., Nat. Geo. (2021)

Questions scientifiques :

- Cycles biogéochimiques à haute fréquence?
- Distribution spatiale et intermittence des donneurs et accepteurs d'électrons?
- Rôle sur la dynamique microbienne et les interactions eaux/roches (altération) ?



WP 2.7 Biogeochemical sensors - **micro-sensors**

Positionnement par rapport à l'état de l'art et résultats attendus

Contrôle hydrologique ?

Sites instrumentés,
dynamique hydrologique connue

Apports périodiques et formations de micro-zones et intermittence ?

**Apport WP 2.7 -
microsensors**

Lien avec l'activité microbienne?
Interactions biotiques/abiotiques

WP 2.7

- Gammes de mesure :
milieu souterrain : gammes basses pour l'O₂ mais gammes hautes pour le CO₂
milieu de surface : gammes hautes pour l'O₂ mais gammes basses pour le CO₂
- Intégration des capteurs dans forages et environnement « agressifs » :
dimension, résistance pression, corrosion
- Temps de réponse des capteurs

Se tourner au maximum vers des **solutions commerciales** et **co-développement** de capteurs adaptés si besoin

Interface d'extraction commune ?



WP 2.7 Biogeochemical sensors - micro-sensors

Description des capteurs

Capteurs entre 2 000 et 10 000 euros

O₂

Unisense

New

pH O₂ T T_a

Get a quote



Flexible-Analyte Deep Sea Logger
AquapHOX[®]-LX

- Item nr. APHOX-LX
- Broad range of O₂, pH & temp. sensors
- Operation up to 4000 m depth
- Stand-alone logging up to >1 year
- Integrated fast temperature sensor

Pyroscience

PRODUCTS

SENSORS AND ELECTRODES

MICROOPTODE



MicroOptode in retractable needle. Available with 430µm or 50µm optical fiber

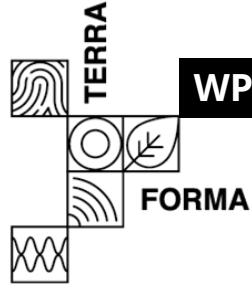
CO₂



EZO-CO₂™
Embedded Carbon
Dioxide Sensor

#EZO-CO₂





WP 2.7 Biogeochemical sensors - **micro-sensors**

Planning envisagé et besoins en personnel

Stage de M1 : état de l'art des capteurs

Quelles solutions existent? Quels avantages? Quels inconvénients? Quelles améliorations possibles?
Quel développement nécessaire?

Besoin de personnel achat et installation capteurs

Besoin de personnel gestion des données acquises
Base de données? Serveurs?

Avant l'été

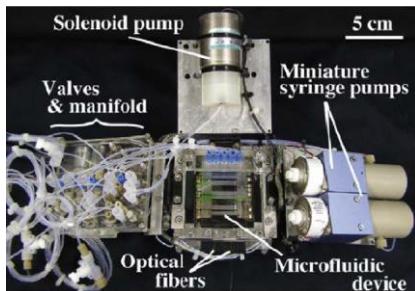
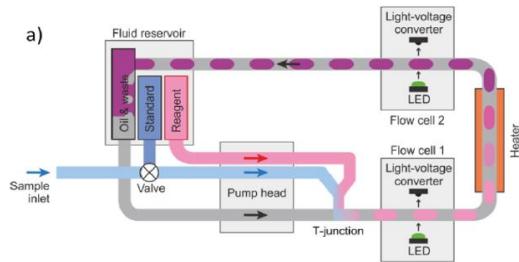
Etat de l'art capteur

2022-2024

Achats et installations

2022-2025

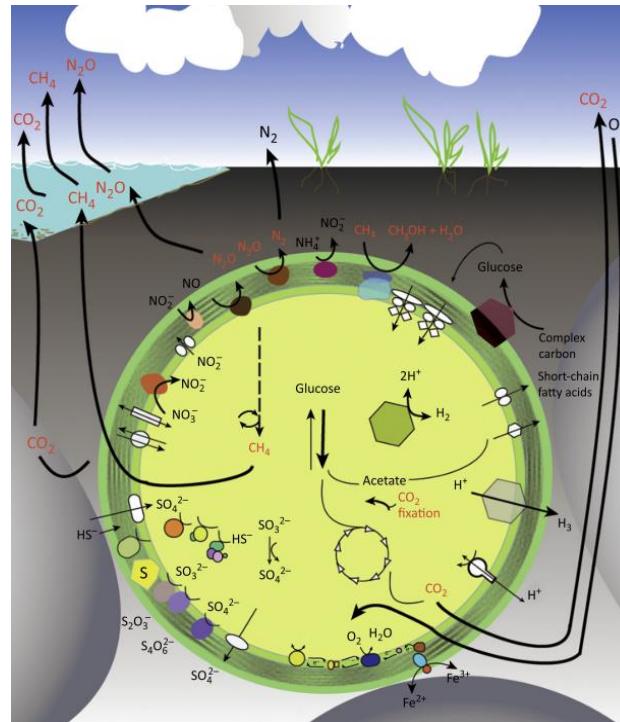
Gestion des données



WP2.7 Lab on Chip

Nutriments, composés inorganiques, ATP

Coordination: T. Le Borgne, V. Raimbault



Développer des capteurs in situ permettant la mesure à haute fréquence:

- des concentrations en accepteurs et donneurs d'électrons: nutriments (NO₃⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺), composés inorganiques (Fe²⁺, Fe³⁺, SiO₂, H₂) et organiques (CH₄)
- de l'ATP, comme proxy de l'activité microbienne



WP 2.7 Biogeochemical sensors - lab on chip

Lab on a Chip

PAPER



Cite this: *Lab Chip*, 2018, 18, 1884



[View Article Online](#)

[View Journal](#) | [View Issue](#)

Highly integrated autonomous lab-on-a-chip device for on-line and *in situ* determination of environmental chemical parameters

Cynthia Martinez-Cisneros, ^{ab} Zaira da Rocha, ^c Antonio Seabra, ^c Francisco Valdés, ^d and Julián Alonso-Chamarro ^a

Trends in Analytical Chemistry 95 (2017) 62–68

Contents lists available at [ScienceDirect](#)



Trends in Analytical Chemistry

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



Microfluidic lab-on-a-chip platforms for environmental monitoring

Roberto Pol ^a, Francisco Céspedes ^a, David Gabriel ^b, Mireia Baeza ^{a,*}

^a Department of Chemistry, Faculty of Science, Edifici C-Nord, Universitat Autònoma de Barcelona, Carrer dels Til·lers, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, Spain

^b GENOCOV Research Group, Department of Chemical, Biological and Environmental Engineering, School of Engineering, Universitat Autònoma de Barcelona, Carrer de les Sitges, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, Spain

Positionnement par rapport à l'état de l'art et résultats attendus

Edited by
Eric Delory and Jay Pearlman

Challenges and Innovations in Ocean In Situ Sensors

Measuring Inner Ocean Processes and Health in the Digital Age



WP 2.7 Biogeochemical sensors - lab on chip

Positionnement par rapport à l'état de l'art et résultats attendus



Cite This: *Environ. Sci. Technol.*, 2019, 53, 9677–9685

Article
pubs.acs.org/est

A Droplet Microfluidic-Based Sensor for Simultaneous in Situ Monitoring of Nitrate and Nitrite in Natural Waters

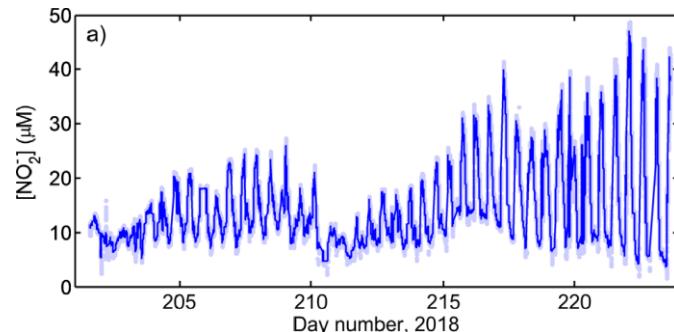
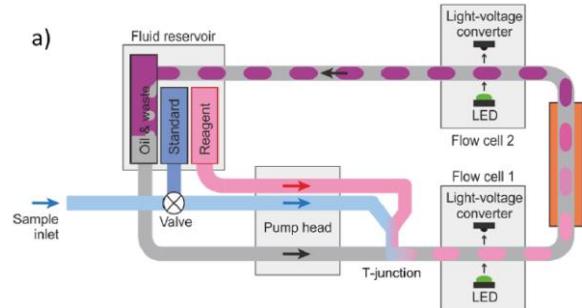
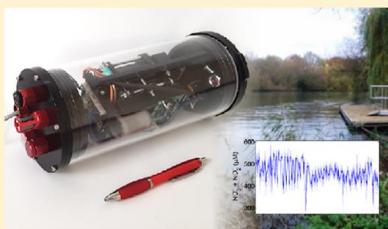
Adrian M. Nightingale,[†] Sammer-ul Hassan,[†] Brett M. Warren,[‡] Kyriacos Makris,[‡] Gareth W. H. Evans,[†] Evangelia Papadopoulou,[‡] Sharon Coleman,[‡] and Xize Niu^{*,‡,§,¶}

[†]Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Southampton, Southampton, SO17 1BJ, United Kingdom

[‡]SouthWestSensor Ltd, Enterprise House, Ocean Village, Southampton, SO14 3XB, United Kingdom

Supporting Information

ABSTRACT: Microfluidic-based chemical sensors take laboratory analytical protocols and miniaturize them into field-deployable systems for *in situ* monitoring of water chemistry. Here, we present a prototype nitrate/nitrite sensor based on droplet microfluidics that in contrast to standard (continuous phase) microfluidic sensors, treats water samples as discrete droplets contained within a flow of oil. The new sensor device can quantify the concentrations of nitrate and nitrite within each droplet and provides high measurement frequency and low fluid consumption. Reagent consumption is at a rate of 2.8 mL/day when measuring every ten seconds, orders of magnitude more efficient than those of the current state-of-the-art sensors. The sensor's capabilities were demonstrated during a three-week deployment in a tidal river. The accurate and high frequency data (6% error relative to spot samples, measuring at 0.1 Hz) elucidated the influence of tidal variation, rain events, diurnal effects, and anthropogenic input on concentrations at the deployment site. This droplet microfluidic-based sensor is suitable for a wide range of applications such as monitoring of rivers, lakes, coastal waters, and industrial effluents.





Instruments and Methods

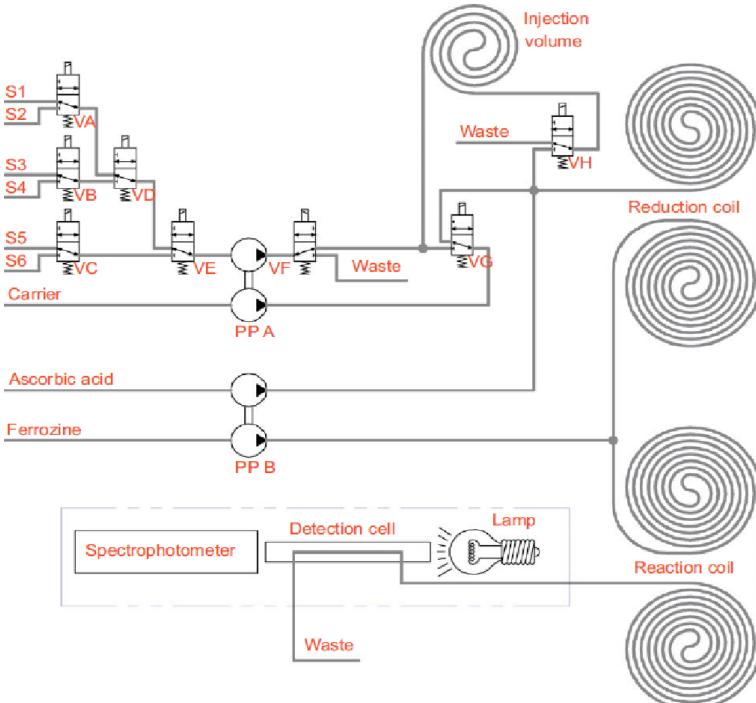
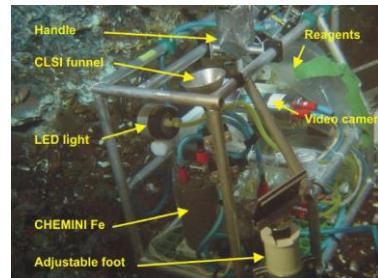
CHEMINI: A new *in situ* CHEmical MINIaturized analyzer

R. Vuillemin^{a,1}, D. Le Roux^a, P. Dorval^a, K. Bucas^a, J.P. Sudreau^a, M. Hamon^a, C. Le Gall^b, P.M. Sarradin^{b,*}

^a IFREMER, TSI, centre de Brest, 29280 Plouzané, France

^b IFREMER, DEEP, centre de Brest, 29280 Plouzané, France

- analyseur grand fond « Alchimist » dosage du fer et des sulfures et dosage nanomolaire du fer
- analyseur de surface pour le dosage des nitrates
- prototype d'analyseur d'azote ammoniacal par fluorimétrie.
- analyseur ANAIS pour la mesure des nitrates, silicates et phosphates (LEGOS)

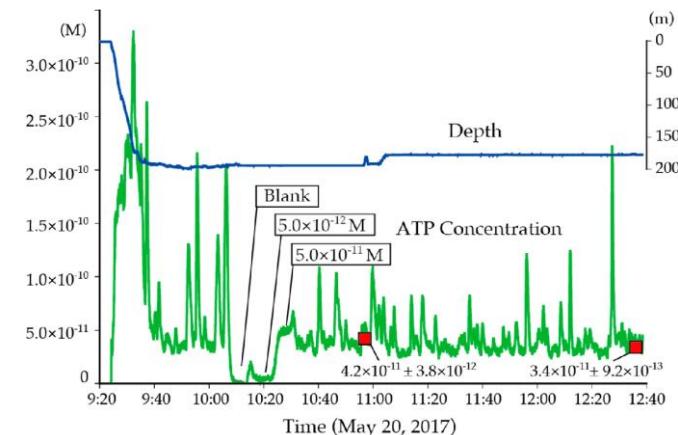
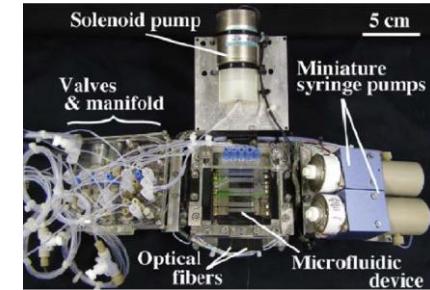
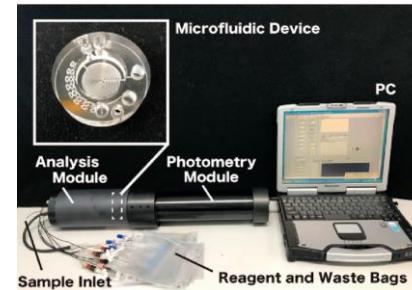
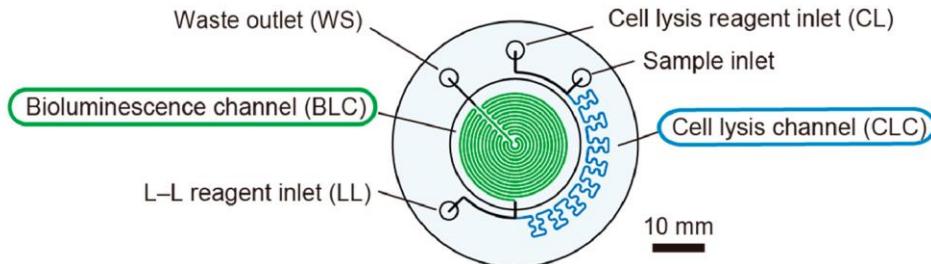


Article

Adenosine Triphosphate Measurement in Deep Sea Using a Microfluidic Device

 Tatsuhiro Fukuba ^{1,*}, Takuroh Noguchi ², Kei Okamura ² and Teruo Fujii ³
¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan

² Research and Education Faculty, Kochi University, B200 Monobe, Nankoku, Kochi 783-8502, Japan; noguchitk@kochi-u.ac.jp (T.N.); okumurak@kochi-u.ac.jp (K.O.)

³ Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, 153-8505 Tokyo, Japan; tfuji@iis.u-tokyo.ac.jp




WP 2.7 Biogeochemical sensors – lab on chip

Défis techniques et choix envisagés

Adapter les prototypes conçus pour les observatoires océaniques pour les milieux continentaux: taille, stockage fluides, électronique, énergie

- **Droplet microfluidic sensor** (Southwest sensor): nitrate et nitrite
 - **Chemini**: ammonium, nitrate, silicate, phosphate, Fe(II), Fe(II+III), total sulphide ($H_2S+HS+S_2$), limites de détection 0.3 and 0.1 mM iron/sulphide.
 - **ATP sensor**: ATP



Recherches et Développements Technologiques

R&D Technologiques Des Projets Infrastructures de Recherche Actualités Besoin de Quelque chose ?

Des Projets | CHEMINI | Équipe CHEMINI

Équipe CHEMINI



Agathe LÆS-HUON
(Chercheure en chimie marine)

agathe.laes@ifremer.fr

[En savoir plus](#)



Romain DAVY

romain.davy@ifremer.fr

[En savoir plus](#)

Partager

Recherche





JAMSTEC 地球・惑星科学総合研究機関
JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY

JAMSTECトップページ アクセス お問い合わせ お支払いのお願い

Google 検索

ENGLISH

海洋工学センター

海洋工学センター

海洋基幹技術研究部
Department of Engineering for Geo-Marine Science

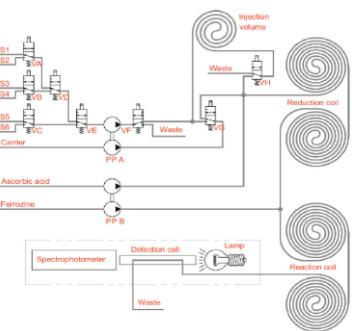
福場辰洋
Tatsuhiro Fukuba

Nom	Technique	Paramètres	Gamme de mesure	Reference
Droplet microfluidic sensor	Colorimétrie (Griess method)	Nitrates, Nitrites	1 - 1000 µM	Nightingale et al. 2015
Chemini grand fond	Spectrophotomètre + mélange Ferrozine/ Ascorbic acid	Fell+FeIII, H2S+HS+S2	0.1 - 2000 µM	Vuillemin et al. 2009
Chemini cotier	Colorimétrie	Nitrate, Silicate, Ammonium, Phosphate		Thouron D, et al. 2003
ATP sensor	Bioluminescence + mélange luciferase+Mg	ATP	$10^{-5} - 10^{-3}$ µM	Fukuba et al. 2018
		Phosphate	3 µM	Clinton-Bailey et al. 2017
		ammonia	0.8 µM	Cogan et al. 2014

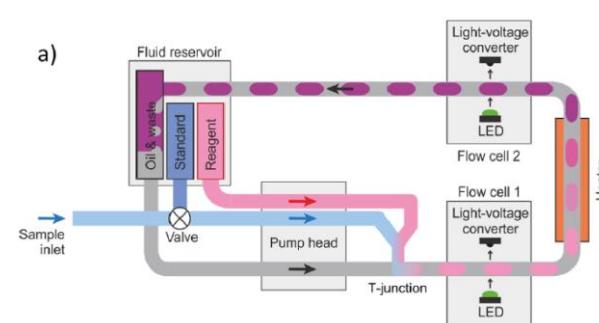
WP 2.7 Biogeochemical sensors - lab on chip

Défis techniques et choix envisagés

Chemini



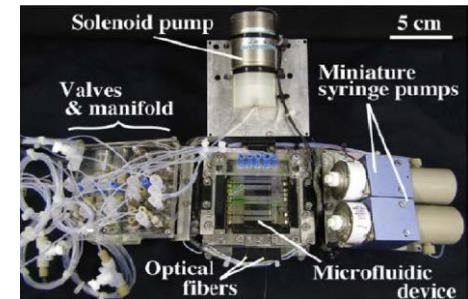
Droplet microfluidic sensor



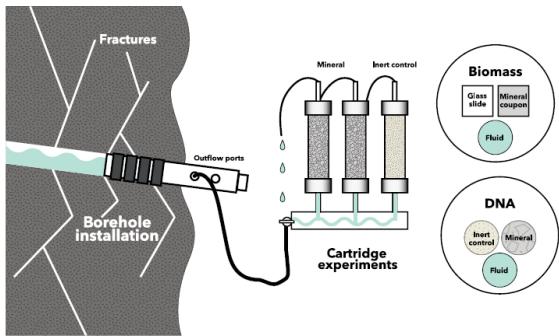
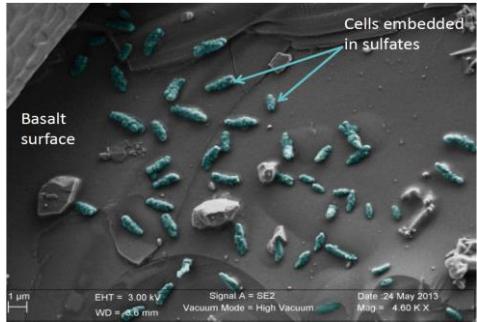
Collaboration à développer avec l'IFREMER

Collaboration à développer avec SouthWest sensors
Version commerciale disponible

ATP sensor



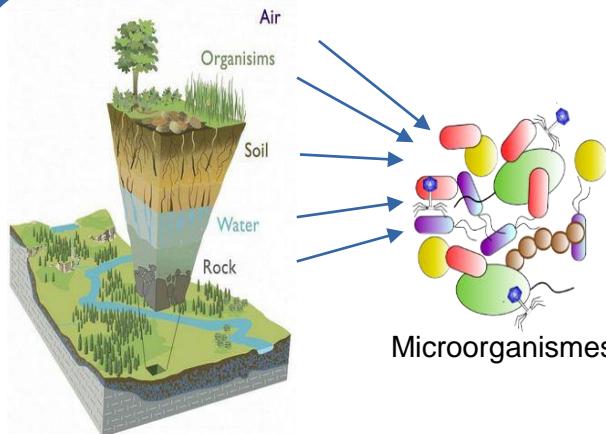
Collaboration à développer avec JAMSTEC



WP2.7 Biosampler

Micro-organisms

Coordination: A. Dufresne, B. Menez

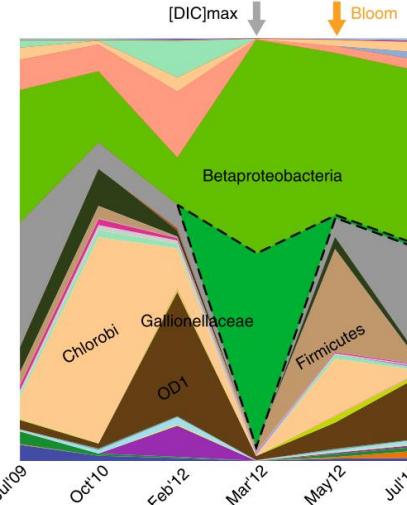


Les micro-organismes au sein de la Zone Critique

- Très abondants (70 Gt C)
- Immense diversité
- Participant à tous les grands cycles biogéochimiques (C,N,S,Fe,etc.)

Caractériser les dynamiques microbiennes pour mieux contraindre la réactivité biogéochimique dans la Zone Critique

- Réponses des microorganismes aux variations environnementales ? Temps de réponse ?
- Rôle des microorganismes dans les processus et les flux ?



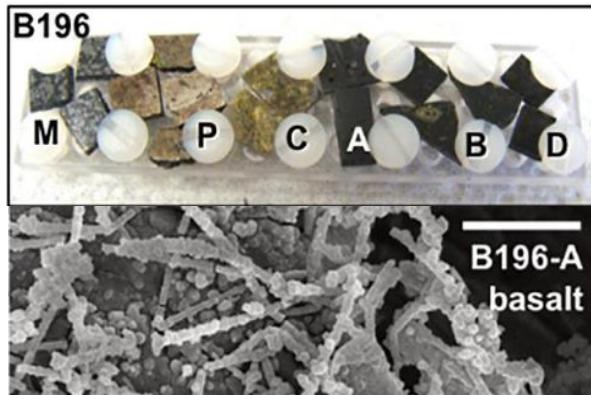
Trias et al., 2017

WP 2.7 Biogeochemical sensors – biosampler

FORMA Challenge majeur :

- Échantillonner les micro-organismes avec des échelles spatiales et temporelles pertinentes par rapport aux dynamiques environnementale / l'hétérogénéité des habitats et temps de vie des « hotspots » microbiens
- Prélèvements dans des environnement peu accessibles (subsurface continentale, croûte océanique)
- Très peu d'applications pour la subsurface continentale

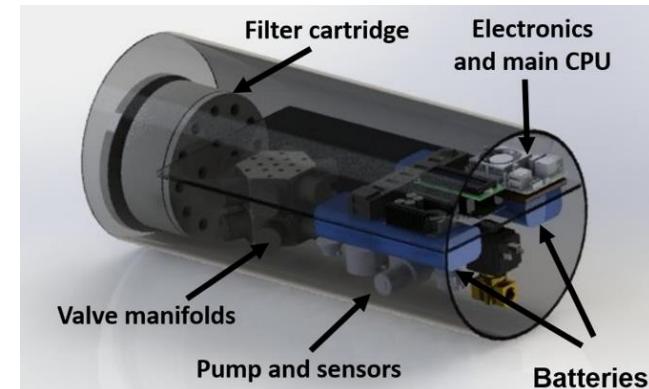
Biosamplers: systèmes passifs, surfaces minérales (rock chips), incubation *in situ*, **micro-organismes attachés** (biofilms)



Ramirez *et al.*, 2019

Positionnement par rapport à l'état de l'art

Smart samplers : systèmes actifs, prélèvements fréquents, filtration, **micro-organismes planctoniques**



Ribeiro *et al.*, 2019



WP 2.7 Biogeochemical sensors – biosampler

Description des capteurs

Biosampler :

- Surfaces minérales centimétriques installées sur des supports inertes
- Minéraux de synthèse ou naturel (lame mince de roche)
- Système de circulation de fluide pour favoriser les interactions entre minéraux et micro-organismes

Smart sampler :

- Prélever de l'eau selon un pas de temps prédéterminé ou en fonction de la mesure d'un paramètre (asservissement à un capteur environnemental)
- Filtrer l'eau pour concentrer les micro-organismes
- Préserver et stocker un grand nombre d'échantillons avant leur récupération



WP 2.7 Biogeochemical sensors – biosampler

Défis techniques

Biosampler :

- Capacité à produire des « rock chips » de manière standardisée et reproductible ?
- Récupération des échantillons sans altération/contamination ?
- Volumes échantillonnés

Smart sampler :

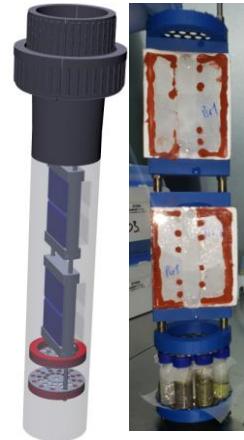
- Alimentation en énergie
- Volume d'eau filtrée assez important pour obtenir une biomasse microbienne suffisante
- Contamination inter échantillons
- Système de préservation des échantillons (chimique ?)
- Système de communication pour le pilotage à distance et/ou l'asservissement à des capteurs environnementaux

WP 2.7 Biogeochemical sensors - biosampler

Planning, budget

Biosampler :

- Tests en cours à Ploemeur dans le cadre de la thèse Ivan Osario (conception du dispositif avec Nicolas Lavenant et Bastien Wild)
- Autres déploiements en cours (lac Dziani, Mayotte; Grottes karstique, Larzac)



Smart sampler :

- Plusieurs systèmes « open source » potentiellement disponibles (Ribeiro *et al.*, 2019, Nguyen *et al.*, 2020 : eDNA sampler <https://github.com/OPEnSLab-OSU/OPEnS-Lab-Home/wiki/eDNA-Sampler>)
- Nécessite des RH avec des compétences en électronique, fluidique, informatique.
- Planning : 2 ans minimum pour la mise en place d'un premier prototype
- Coût théorique eDNA sampler (24 échantillons) : 5000 \$

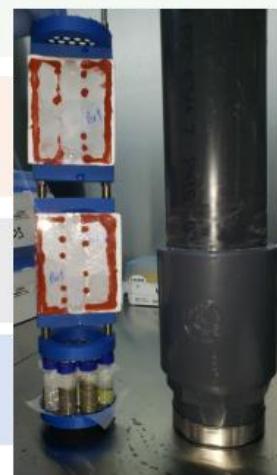
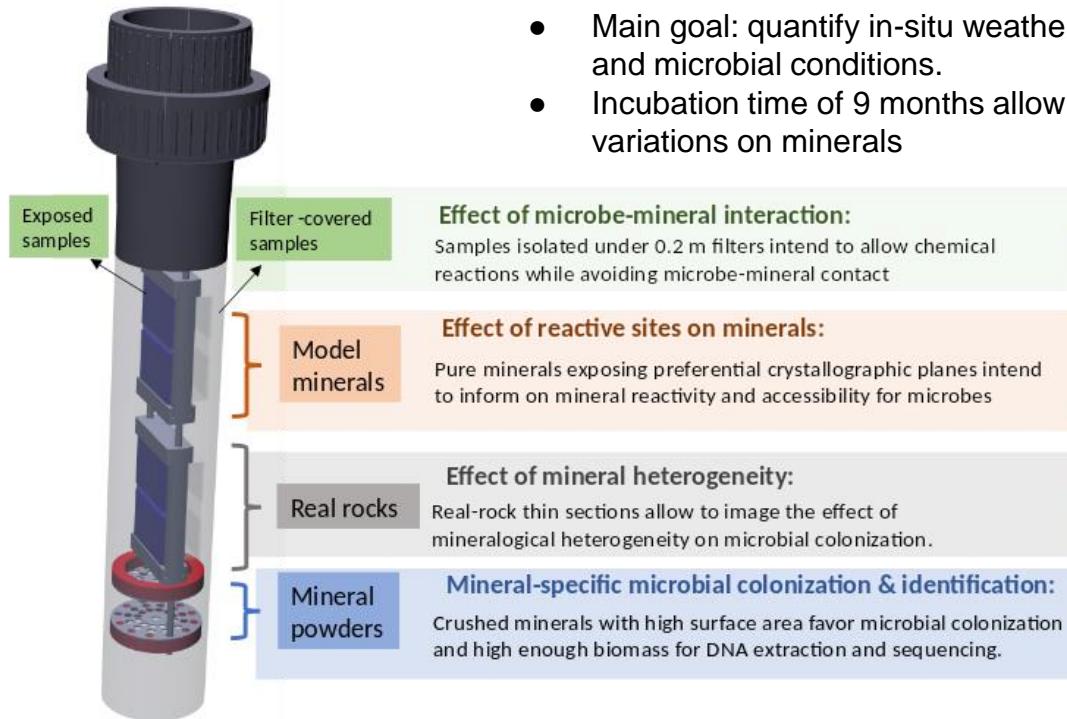


eDNA sampler

WP 2.7 Biogeochemical sensors – biosampler

Disentangling biogeochemical controls on weathering rates in the critical zone with mineral incubation experiments

Ivan Osorio-Leon, Bastien Wild, Nicolas Lavenant, Camille Bouchez, Tanguy Le Borgne, Julien Farasin, Achim Quaiser, Alexis Dufresne, Bénédicte Menez, Emmanuelle Gérard.





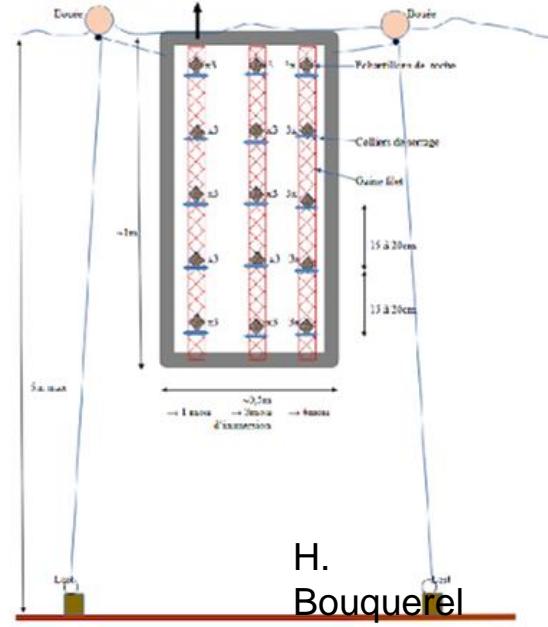
WP 2.7 Biogeochemical sensors - biosampler

FORMA

Biocolonisateur Lac Dziani

PRINCIPE

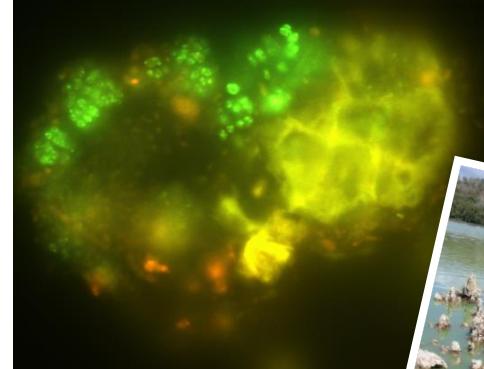
- Plantes colonisées sur un milieu stérile (2 à 5 individus par niveau)
- Plantes colonisées sur la profondeur (5 étages/étages dans un flacon sur ramelle)
- Par tête de ... PVC
- pH basique 9,2 → PVC
- 6 mois pour l'eau
- Quelques mois pour la mort de plantes, décomposition au niveau (0 à 100% possible)
- Autoclavage possible à des températures



Gérard, Bouquerel et al.



Alphaproteobactéries



Gérard et al., 2018, Front Microbiol.

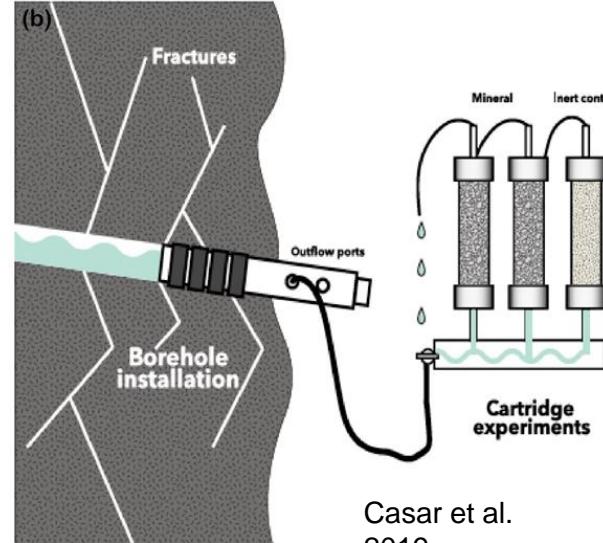
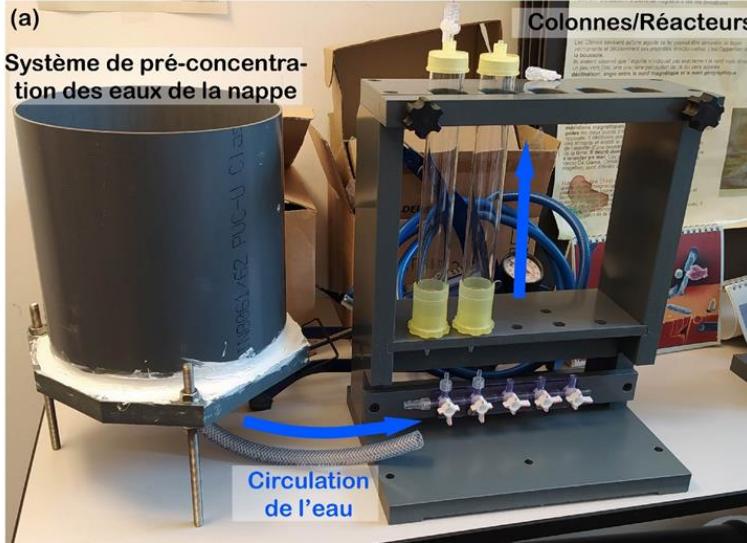


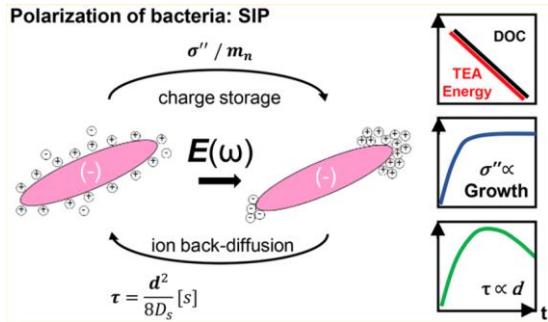
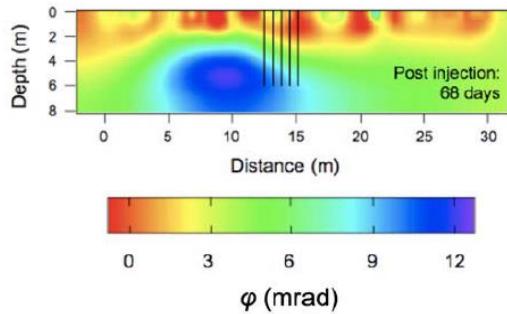
WP 2.7 Biogeochemical sensors - biosampler

FORMA

Déploiement en grottes karstiques (Larzac) pour étudier la fantômisation des roches (punk rock formation)

Pisapia, Bouquerel et al.
Coll Geosciences
Montpellier



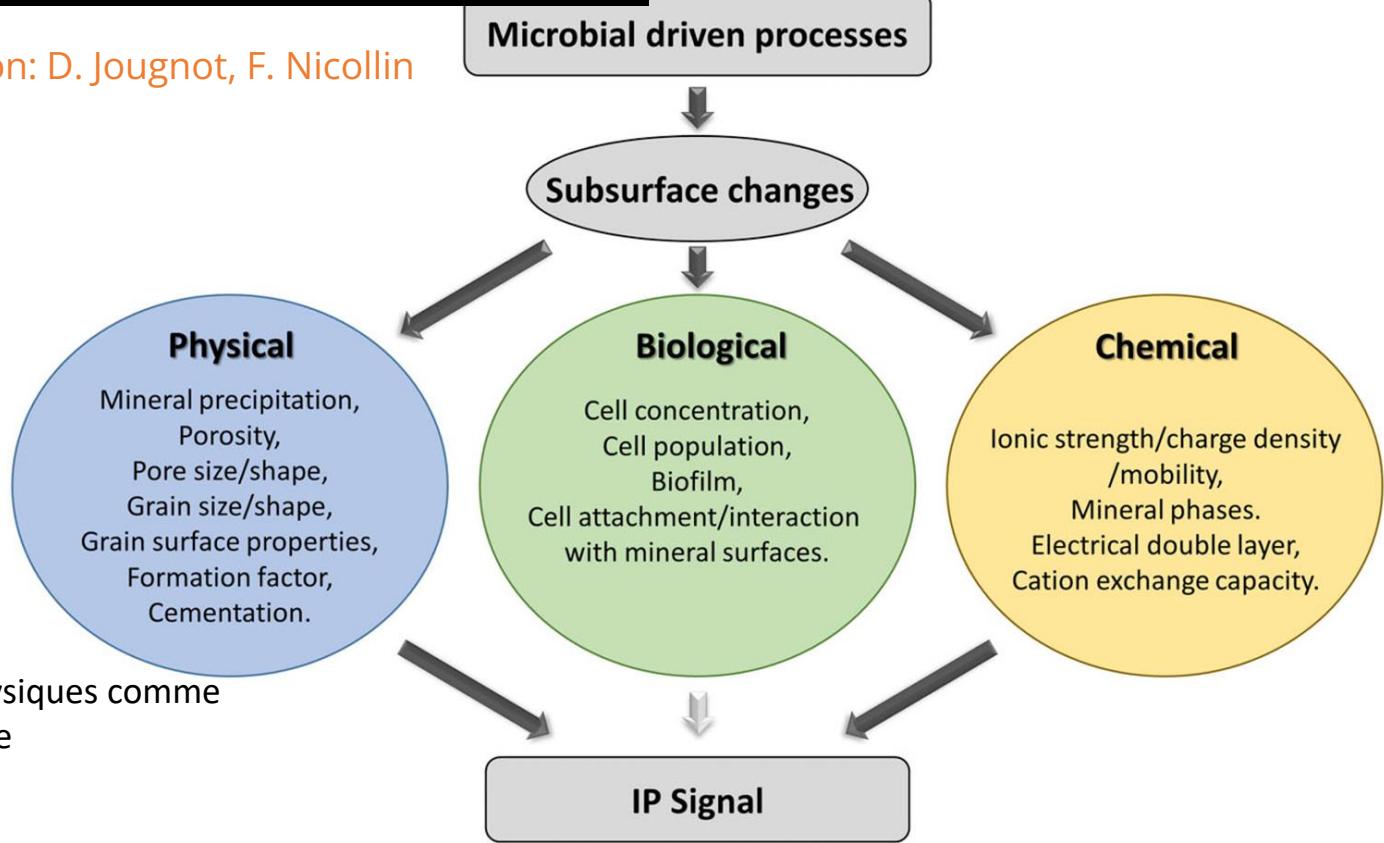


WP2.7 Biogeophysics

Signaux géophysiques comme proxy de l'activité microbienne

WP 2.7 Biogeochemical sensors – biogeophysics

Coordination: D. Jougnot, F. Nicollin



Objectif(s) scientifique(s):

Utilisation des signaux géophysiques comme proxy de l'activité microbienne

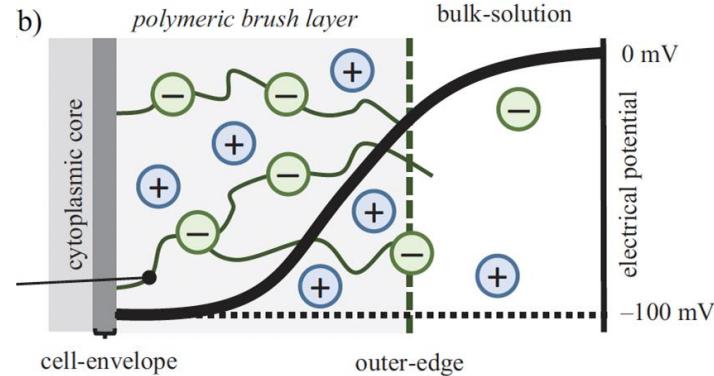
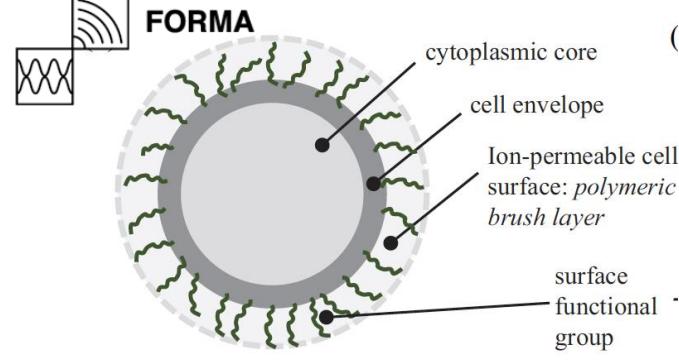
Défis techniques:

Adapter les outils de mesures classiques en capteurs adaptés aux mesures biogéochimiques

(+ autres signaux géophysiques)

Kessouri et al. (2019)

WP 2.7 Biogeochemical sensors - biogeophysics



Kessouri et al. (2019)

Positionnement par rapport à l'état de l'art et résultats attendus (exemple de la SIP)

Polarization of bacteria: SIP

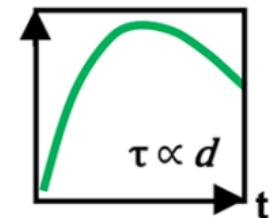
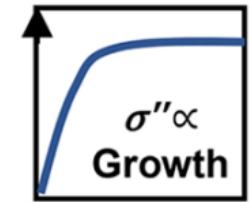
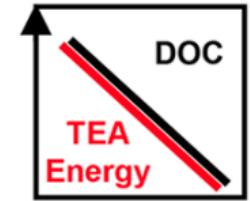
$$\sigma'' / m_n$$

charge storage

$$E(\omega)$$

ion back-diffusion

$$\tau = \frac{d^2}{8D_s} [s]$$

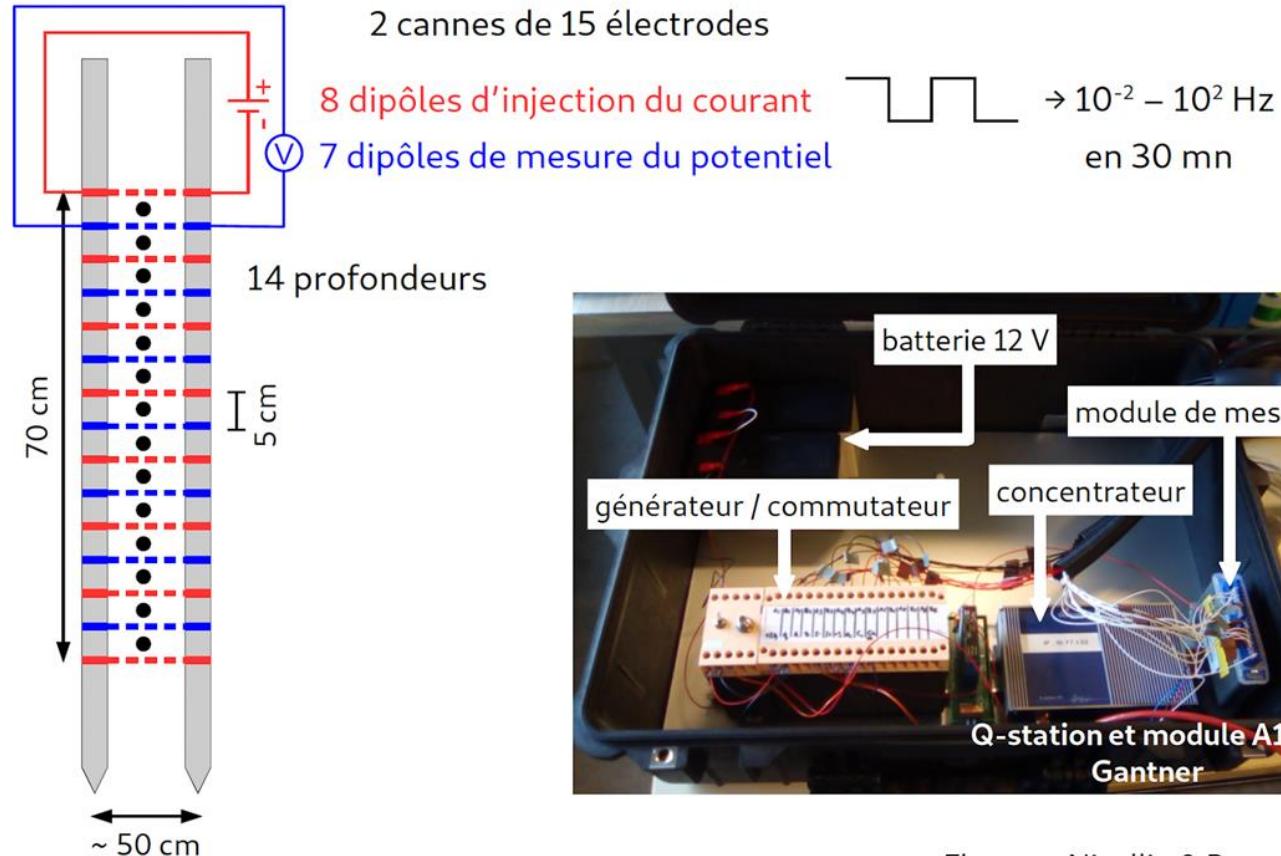


Mellage et al. (2018)



WP 2.7 Biogeochemical sensors - biogeophysics

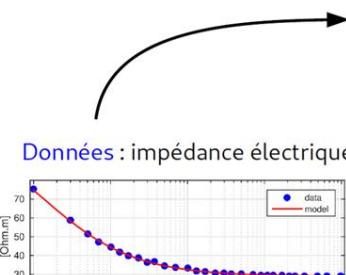
Description des capteurs



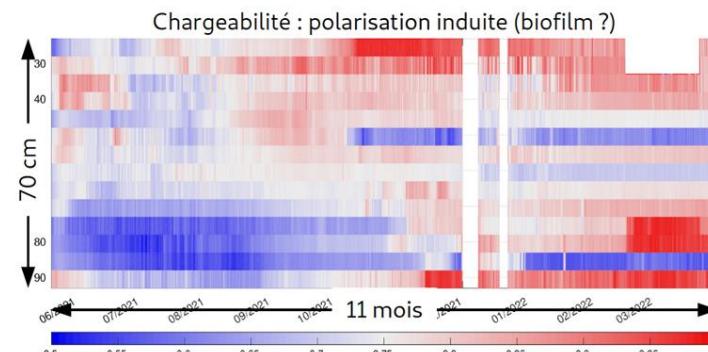
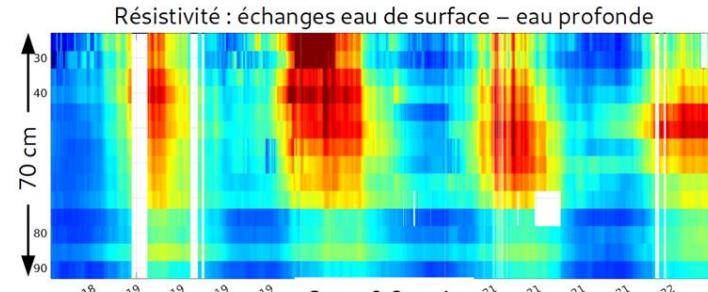
WP 2.7 Biogeochemical sensors - biogeophysics

Dispositif autonome avec une acquisition:

- [1-100] Hz toutes les 4 h entre juillet 2018 et mai 2021,
- [0.01-100] Hz deux fois par jour depuis mai 2021



Modélisation





WP 2.7 Biogeochemical sensors – biogeophysics

Le prototype IP développé par Florence Nicollin et Bruno Kergosien est très avancé

- Etape 1: Validation du prototype SIP avec appareil commercial (2022)
- Etape 2: Colocalisation d'autres types de mesures géophysiques
 - Mesures “sismiques” : éléments ployant (en cours de test à l'UMR METIS: horizon 2023-2024)
 - Mesures “potentiels spontanés” : électrodes non-polarisables (existantes et prêtées)
 - Mesures “magnétiques”: susceptibilimètre (prototypage à venir: horizon 2024-...)

La colocalisation permet de mieux contraindre les informations issues de la mesures

WP 2.7 Biogeochemical sensors - biogeophysics

Eléments pliants
(2 benders = 1200-2000€)

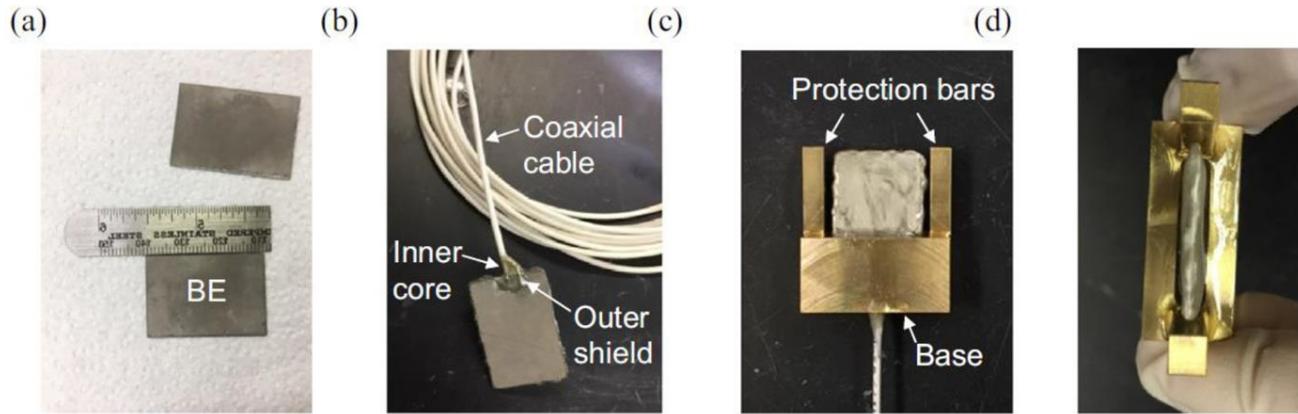


Figure 2 : photo d'un Bender utilisé dans l'étude Byun et al. 2018, avec un cadre

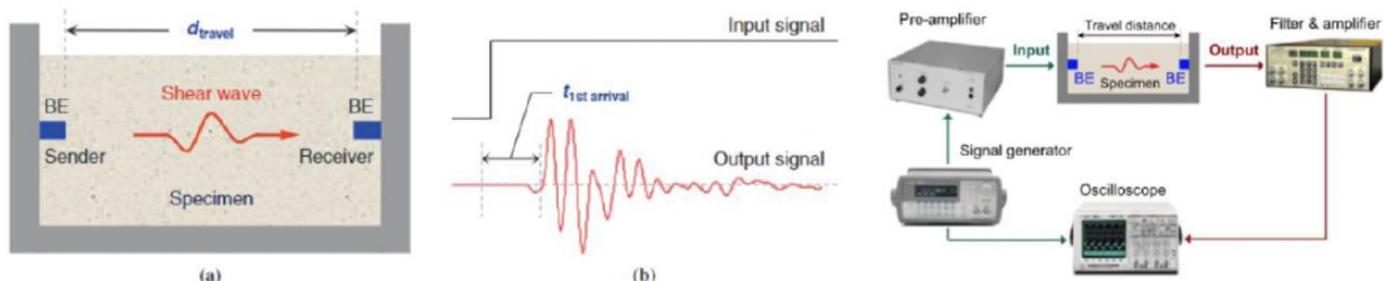
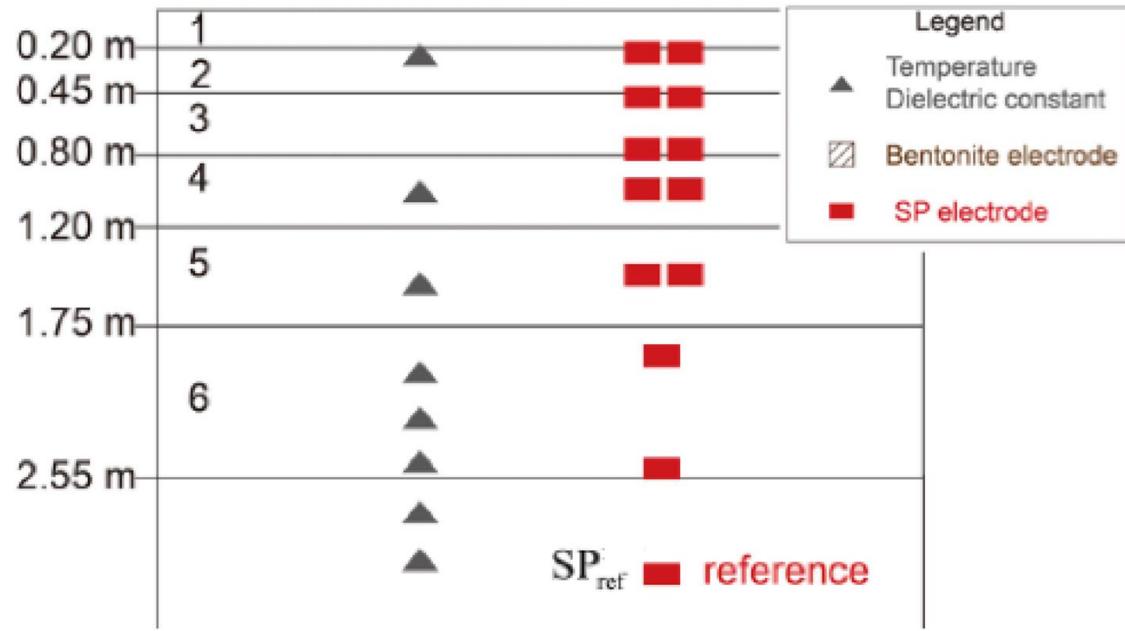


Figure 5 : Schéma de principe de la propagation d'une onde acoustique et système d'acquisition entre deux éléments pliants dans un échantillon de sol (modifiés de Byun et al. 2017, 2018)

WP 2.7 Biogeochemical sensors - biogeophysics



Distribution verticale d'électrode non-polarisables
(150€ pièce)



WP 2.7 Biogeochemical sensors

Planning et implications des personnels permanents prévus dans le projet

Tanguy Le Borgne	CNAP	UNIV RENNES 1	GR	Hydrogéologie et transport réactif
Camille Bouchez	CNAP	UNIV RENNES 1	GR	Hydrogéologie et biogéochimie
Nicolas Lavenant	IE	CNRS	GR	développements capteurs
Francesco Gomez	IE	CNRS	GR	développements capteurs
Thierry Labasque	IR	CNRS	GR	capteurs chimiques
Eliot Chatton	IR	CNRS	GR	capteurs chimiques
Luc Aquilina	PR	UNIV RENNES 1	GR	Géochimie
Florence Nicollin	Mcf	UNIV RENNES 1	GR	Géophysique
Vincent Raimbault	CR	CNRS	LAAS	Microfluidique
Damien Jougnot	CR	CNRS	METIS	Biogéophysique
Alexis Dufresne	CR	CNRS	ECO	Microbiologie environnementale
Alexandrine Pannard	MCF	UNIV RENNES 1 UNIV PARIS	ECO	Microbiologie environnementale
Bénédicte Menez	PR	DIDEROT INST PHYSIQUE	IPGP	Géomicrobiologie
Emmanuel Gerard		DU GLOBE DE PARIS	IPGP	Géomicrobiologie
Céline Pisapia	MCF	UNIV PARIS DIDEROT INST PHYSIQUE	IPGP IPGP	Géomicrobiologie
Hélène Bouquerel	IE	DU GLOBE DE PARIS		Géomicrobiologie
Hervé Tabuteau (IPR)	CR	CNRS	IPR	Microfluidique



WP 2.7 Biogeochemical sensors

WP2.7 Budget par tâche

Tâche 1 Micro-sensors 90 k€: capteurs in situ O2, pCO2, H2, H2S, N2O, NO

Equipement	80 k€ capteurs haute sensibilité O2, pCO2, H2, N2O, NO (PyroScience, unisense) 15 sondes de cout allant de 5 à 10 k€
Prestation de service	
Missions - fonctionnement	10k€ calibration et installation capteurs sur site
Cout unitaire du prototype	6.5 k€
Nombre de capteurs	12

Tâche 2 Lab on chip 200 k€: mesures in situ de nutriments (NO32-, SO42-, PO43-, NH4+), minéraux dissous (Fe2+, Fe3+, silice), ATP

Equipement	100k€: 40 k€ équipements microfluidique (micro-capteurs, micro-vannes, micro-pompes, système de filtration), 40k€ équipements microfabrication (UV CUBE, imprimante 3D), 20k€ achat capteurs lab on a chip développés par Southwest sensors,
Prestation de service	80 k€: développements des sondes lab on a chip pour les environnements continentaux
Missions - fonctionnement	20 k€: consommables microfluidique, test et calibration, installation sur site
Cout unitaire du prototype	40 k€ (65 k€ si on compte les prestations)
Nombre de capteurs	3



WP 2.7 Biogeochemical sensors

WP2.7 Budget par tâche

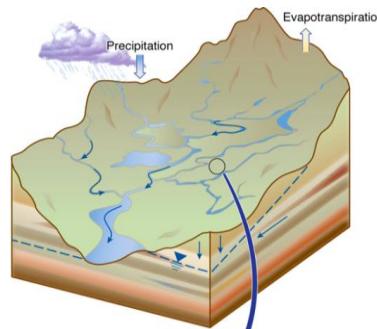
Tâche 3 Biosampler 200 k€ : échantillonnage automatique in situ de bactéries

Equipement	100 k€: micro-pompe, micro-capteurs (débit, pression), micro-électronique, communication, système de filtration, système osmotique
Prestation de service	80 k€: 60k€ développement biosampler pour les environnements continentaux, 20k€ frais analyses génomiques, MEB et confocal
Missions - fonctionnement	20 k€: consommables test et calibration, installation sur site
Cout unitaire du prototype	20 k€ (36 k€ si on compte les prestations)
Nombre de capteurs	5

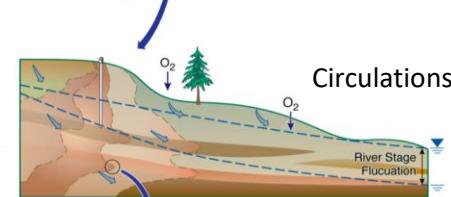
Tâche 4 Biogeophysics 70 k€: suivi géophysique de l'activité microbiologique

Equipement	40 k€: sondes PS, PP, impédance, acoustique
Prestation de service	20 k€: intégration dans une sonde biogéophysique unique
Missions - fonctionnement	10 k€: consommables test et calibration, installation sur site
Cout unitaire du prototype	10 k€ (15 k€ si on compte les prestations)
Nombre de capteurs	4

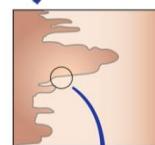
WP 2.7 Biogeochemical sensors



Cycles et flux dans la zone critique



Circulations



Gradients biogéochimiques



Communautés microbiennes,
réactivité

Questions

- Hot spots et hot moments** : quel est l'impact des processus hydrologiques et géochimiques (écoulement, transport réactif, fluctuations hydrologiques) sur la dynamique et la distribution des micro-organismes ?
- Interactions biotique-abiotique** : quel est le rôle des micro-organismes dans l'altération des roches ?
- Flux biogéochimiques** : quel est le rôle des micro-organismes dans les flux biogéochimiques entre la surface et le milieu souterrain ?

Tâche 1 Micro-sensors: capteurs in situ O_2 , pCO_2 , H_2 , H_2S , N_2O , NO

Tâche 2 Lab on chip: mesures in situ de nutriments (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+), minéraux dissous (Fe^{2+} , Fe^{3+} , silice), ATP (adenosine triphosphate)

Tâche 3 Biosampler: échantillonnage automatique in situ de micro-organismes

Tâche 4 Biogeophysics: suivi géophysique de l'activité microbiologique

Laboratoires impliqués : CARRTEL, CEBC, CEFÉ, Centre de Géosciences, CERFE, CESBIO, Chrono-environnement, CRAL, CReSTIC, DT-INSU, Dynafor, ECOBIO, ECOLAB, EVS, GET, GR, GSMA, HABITER UR, IGE, IM2NP, IPAG, IPGP, IRISA, IRIT, ISM, ISTO, LAAS, LCA, LECA, LEMAR, LHYGES, LIG, LIRMM, LMGE, LPC, LRGP, LIS, RiverLy, SAS, Subatech.

Tutelles et partenaires non académiques : CNRS :INSU, INEE, INSIS, IN2P3, INP, INS2I, INSHS, INSB. **Autres organismes de recherche** : IRD, INRAE, IPGP. **Ecole d'ingénieur** : Mines ParisTech. **Universités** : Grenoble, Savoie-Mont-Blanc, Toulouse et Toulouse INP, Rennes, Clermont-Auvergne, Montpellier, Reims, Toulon, Franche Comté, Orléans, Strasbourg, Aix Marseille. **EPIC**: INERIS. **PME**: Extralab

Soutiens: CNES, OFB, BRGM, Agence de l'eau Loire Bretagne, Réseau RECOTOX, l'observatoire du sol vivant, Institut Carnot Eau & Environnement, Groupes Régionaux des experts du climat, Régions, Office régionales de la biodiversité, Fondation François Sommer

Remerciement aux autrices du livre TERRA FORMA qui nous ont laissé l'emprunt de leur titre.

Contact(s): terra-forma@services.cnrs.fr

terra-forma.cnrs.fr

