

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



PILES À COMBUSTIBLE MICROBIENNES (PAC)

POTENTIELS ET VERROUS

Wafa ACHOUAK

JEUDI 19 JUIN 2014

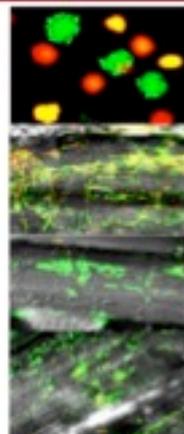
5èmes rencontre CEA ⇔ Industrie, en région PACA, pour l'innovation et le transfert de technologie
Risques industriels & Environnement / Prévention – Protection - Traitement
De nouvelles technologies pour de nouveaux marchés

www.cea.fr

Réponse adaptative des bactéries

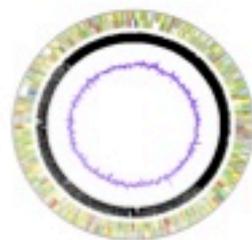
Stress environnementaux Cd/U/NPs

Adaptation aux environnements extrêmes



Dialogue moléculaire dans la rhizosphère

Rôle des bactéries dans la santé des plantes



Outils bioinformatiques

Analyse de métadonnées

Etude in silico

Impact des nanoparticules

Biotransformation

Interactions plante-microbes

Risque et cycle de vie



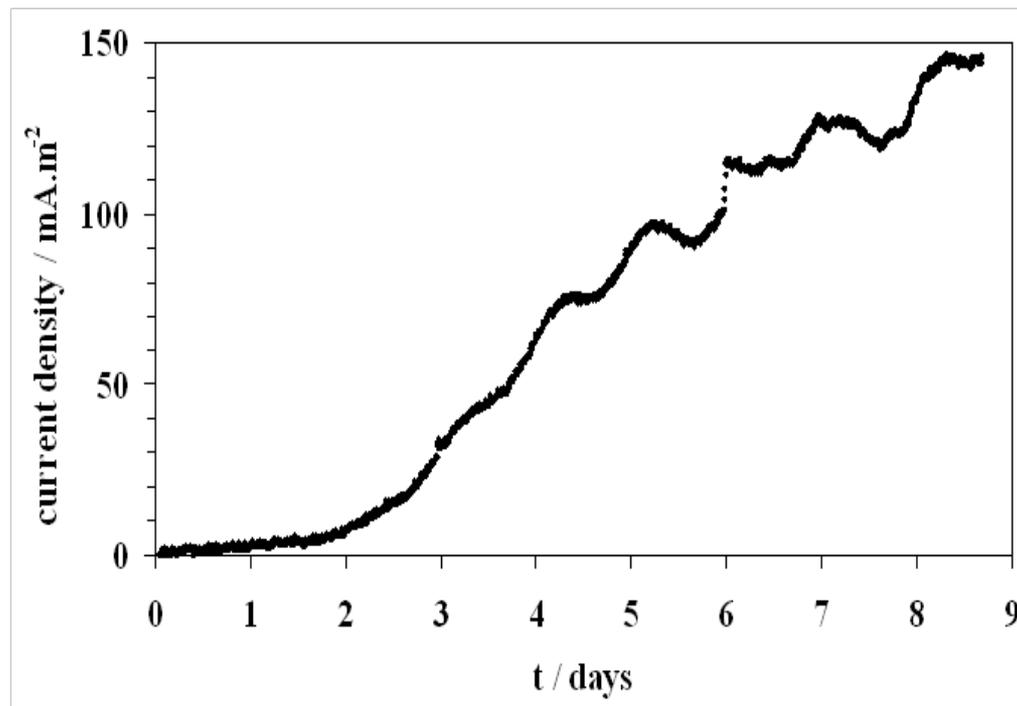
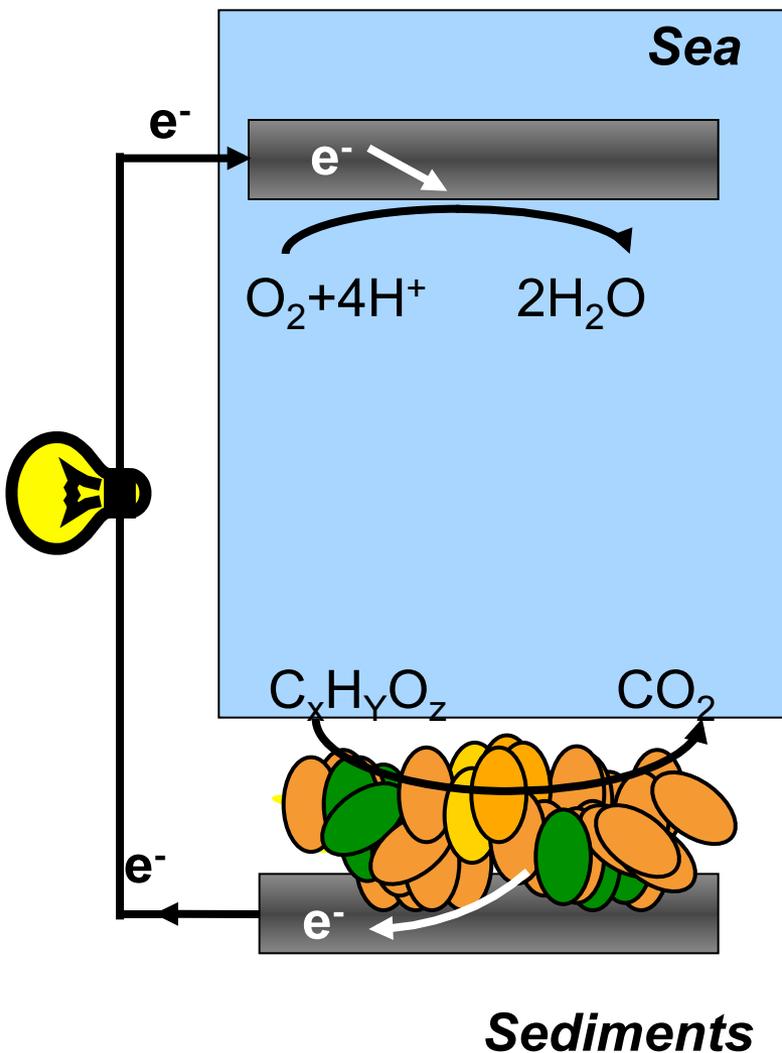
Images and data courtesy of CytoViva, Inc. www.cytoviva.com



Piles à combustible microbiennes

Biofilms électrochimiquement actifs

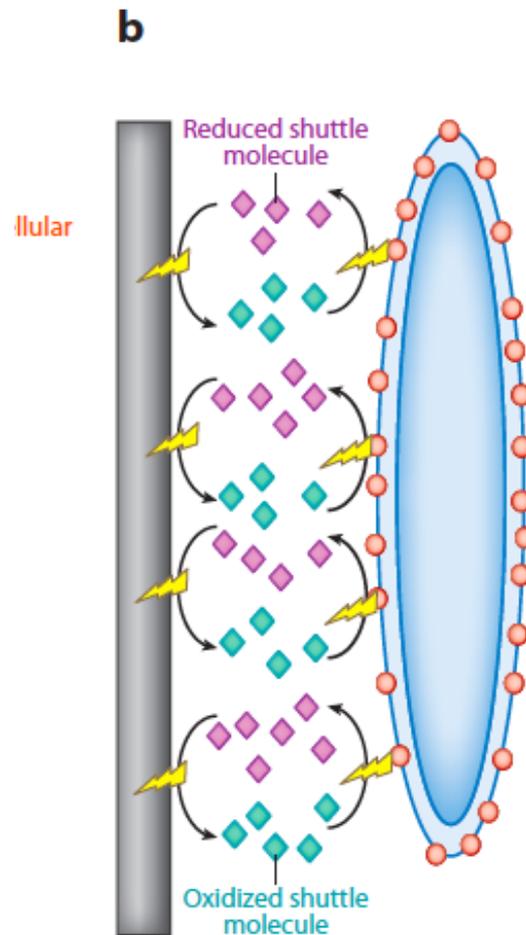
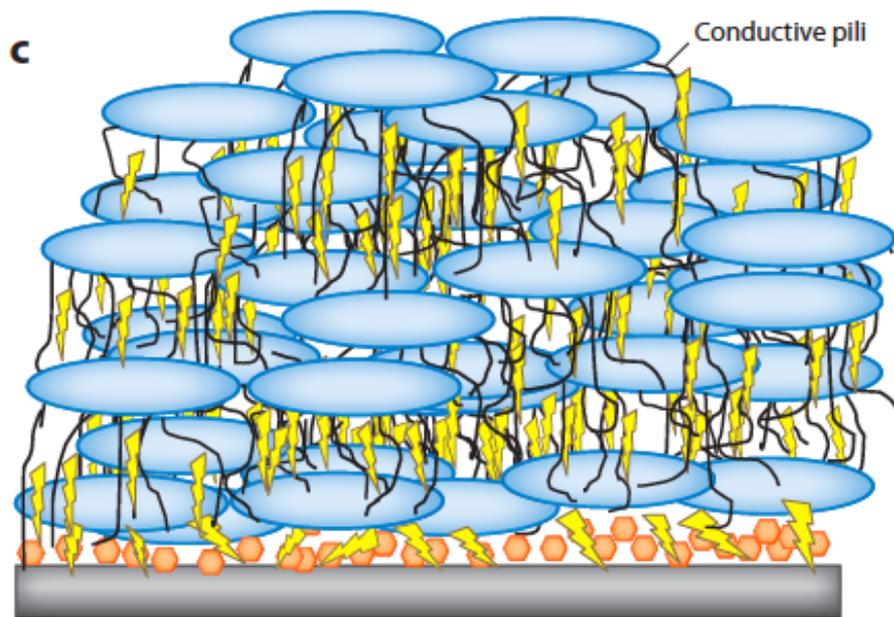
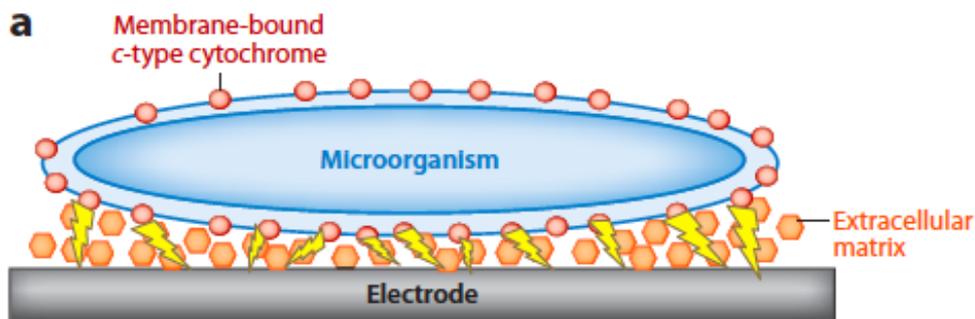




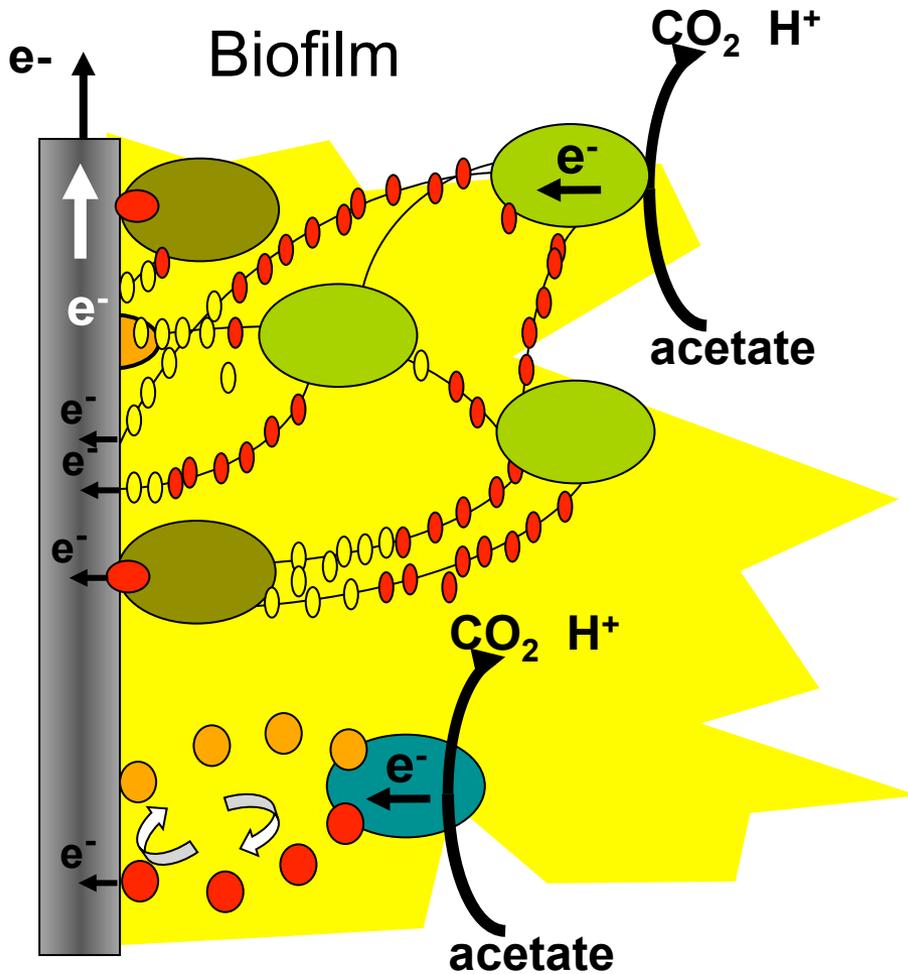
Tender et al., *Nature Biotechnology* **20** (2002) 821

Bond et al., *Science* **295** (2002) 483

Mécanismes potentiels de transfert d'électrons aux électrodes par les microorganismes



Lovley D. Annu. Rev. Microbiol. 2012



- Transfert d'électrons par contact direct bactérie-électrode
- Conduction par des pili
- Transfert d'électrons indirect par des médiateurs redox extracellulaires

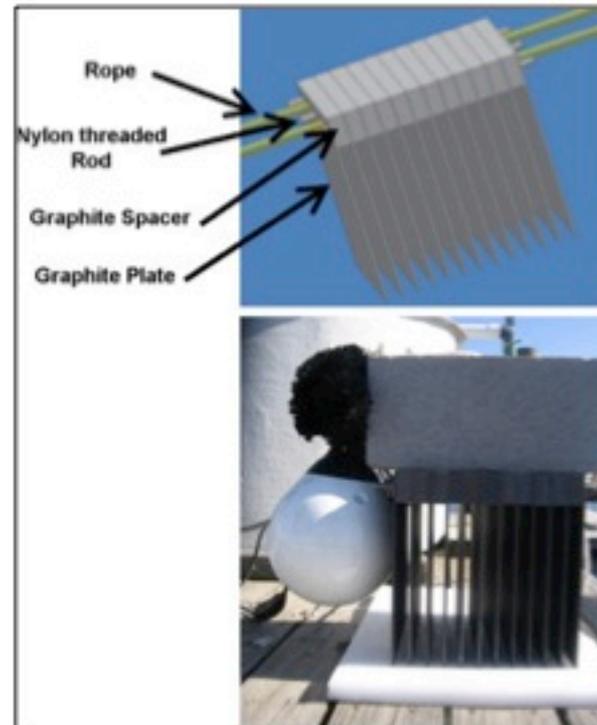
- ✓ Production d'énergie électrique dans des sites éloignés des réseaux de distribution
- ✓ Production d'énergie électrique sur des sites industriels et agricoles à partir des effluents
- ✓ Alimentation de capteurs distribués
- ✓ Alimentation de balises et instruments marins (piles benthiques)
- ✓ Domo-production d'énergie électrique
- ✓ Recyclage des déchets organiques en station spatiales
- ✓ Alimentation de robots autonomes
- ✓

Tendance actuelle: l'électricité n'est pas assez chère pour valider une production de masse par des PAC microbiennes

→ les PAC microbiennes doivent assurer une fonction supplémentaire

- ✓ **Matériaux d'électrodes peu coûteux** : carbone ou graphite, acier inoxydable, surfaces non modifiées
- ✓ L'électro-catalyseur se développe et s'entretient **spontanément** à partir du microbiote de l'environnement
- ✓ Les biofilms contiennent une grande diversité de microorganismes capables d'oxyder **une grande variété de substrats (fuels)**: acétate, acides gras volatiles, sucres, alcools... et divers effluent organiques
Des effluents au courant = production d'énergie en améliorant le traitement d'effluents
- ✓ **Autres technologies** : production de H₂ par électrolyse, électrosynthèse, association avec des plantes ou des algues pour le design de photo-PAC microbiennes, synthèse de nanomatériaux, etc.

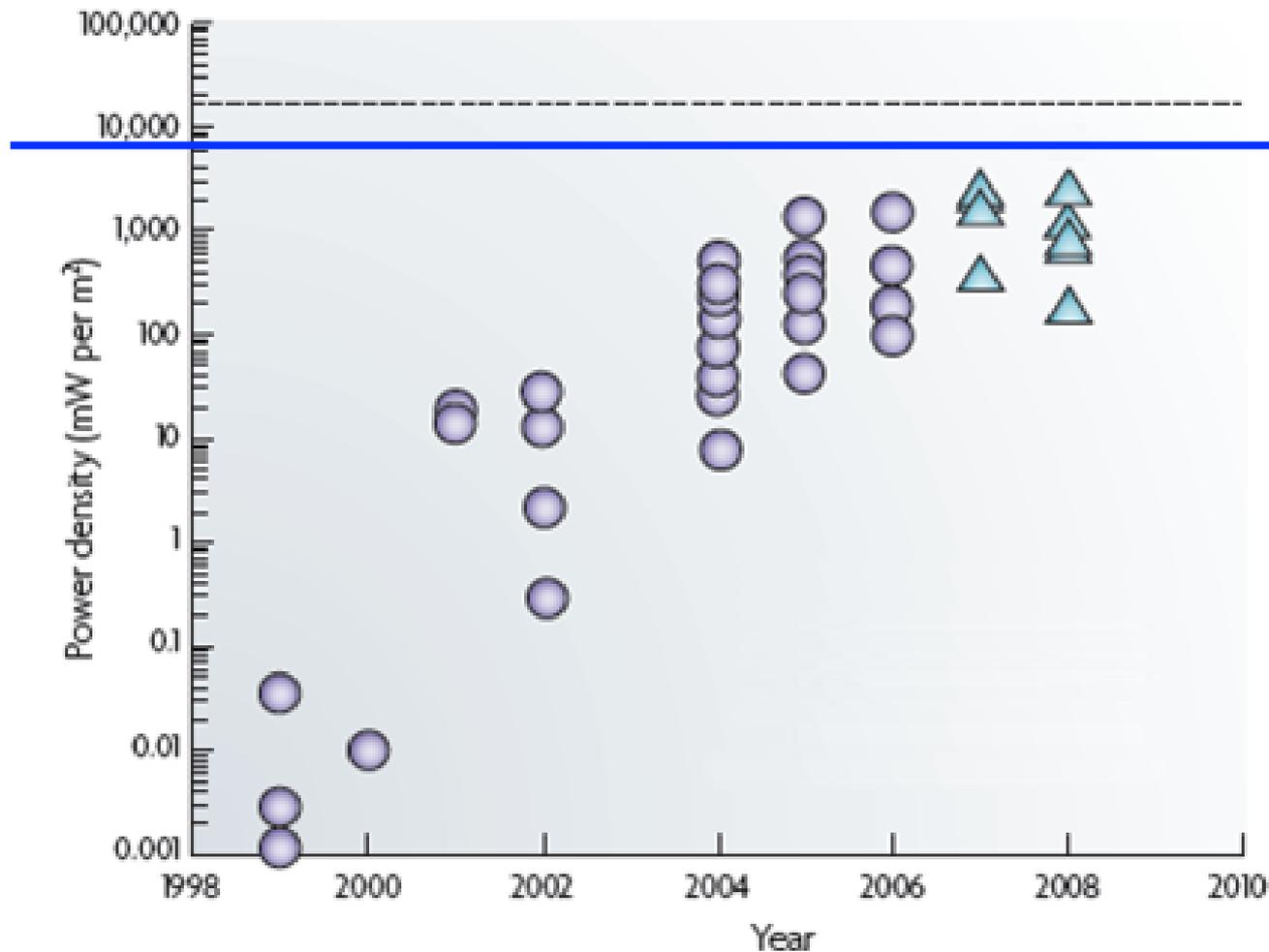
Alimentation d'instruments météorologiques off-shore



16 kg, encombrement 30L
production 36 mW à 25°C

L.M Tender et al. J. Power Sources 179 (2008) 571-575

PAC microbiennes: Evolution des puissances



6,7 W/m²

~15 A/m²

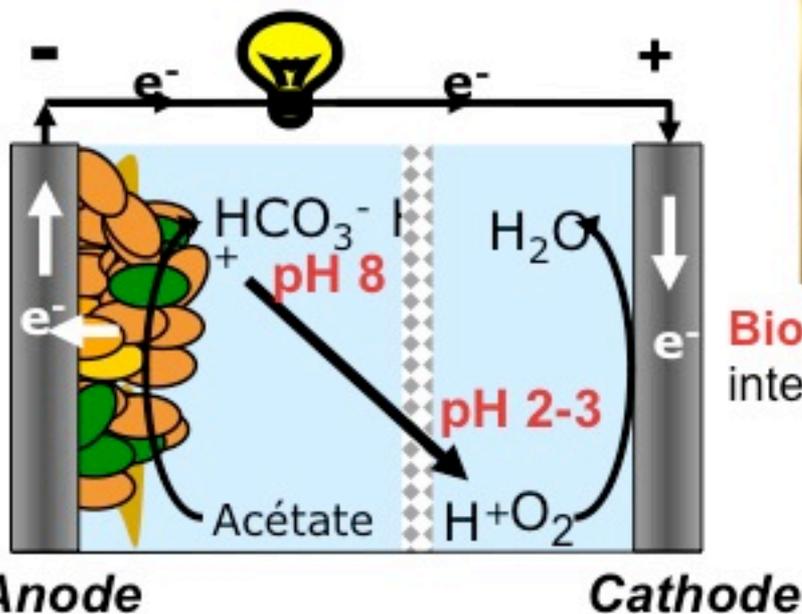
Densités par rapport à la surface de la cathode.

B.E.Logan, Nat Rev Microbiol 7 (2009) 375-381

Verrou au niveau de la cathode $O_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightleftharpoons 2 H_2O$

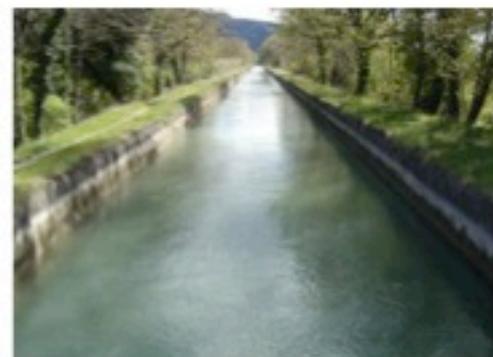
La réduction de O_2 est favorisée par les pH faibles \longleftrightarrow la croissance microbienne préfère les milieux à pH neutre, voire légèrement alcalins

- Pas de catalyseur efficace pour la réduction de O_2 à pH neutre
- Problème dans la conception de la pile
- Biofouling



Biofouling de la face interne d'une cathode à air

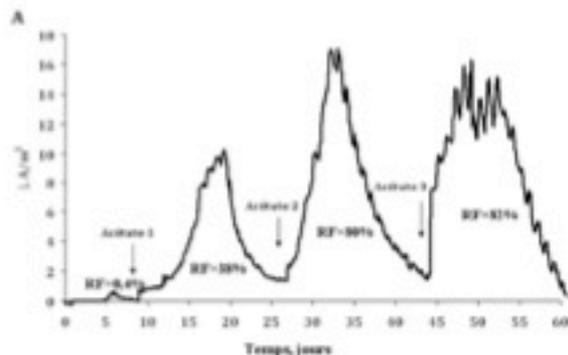
Faible conductivité ionique des environnements d'intérêt



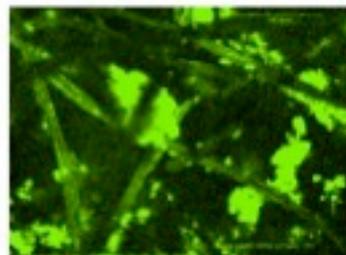
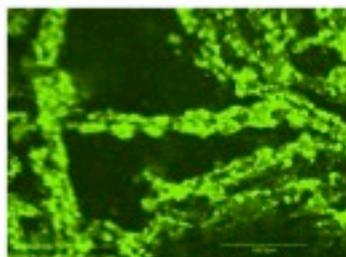
eaux de surface

Tous les écosystèmes explorés sont un bon réservoir de bactérie électrogènes

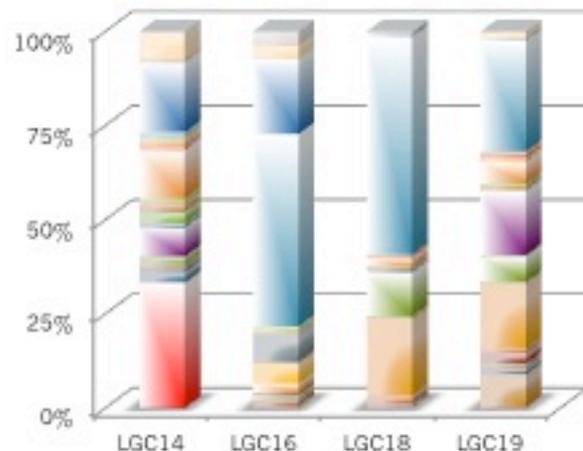




Chronoampèremétrie

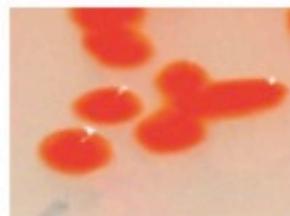


Architecture de biofilms
électro-chimiquement actifs



Composition de biofilms
électro-chimiquement actifs

Isolement et caractérisation de bactéries électrogènes
de divers écosystèmes



❖ Membres du LEMIRE

- ❖ Wafa Achouak
- ❖ Elsy Akkari
- ❖ Astrid Aveillan
- ❖ Mohamed Barakat
- ❖ Marie Bertrand
- ❖ Clothilde Bonnet
- ❖ Nicolas Chabert
- ❖ Gilles De Luca
- ❖ Sylvain Fochesato
- ❖ Desislava Givkova
- ❖ Mohamed Hamidat
- ❖ Lamia Harfouche
- ❖ Thierry Heulin
- ❖ Arnaud Laveilhé
- ❖ Philippe Ortet
- ❖ Catherine Santaella
- ❖ Houda Trifi
- ❖ Liu Wei



BioElec



BioME
2014-2018



Nest EA-Biofilm
2004-2007



BioEnergies
2008-2012



BioEnergies
2009-2013



❖ A. Bergel



DEN Saclay
DEN Cadarache



Contact : Wafa ACHOUAK

wafa.achouak@cea.fr

**Responsable du Laboratoire d'Ecologie Microbienne
et d'Environnements extrêmes**

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

DSB/IBEB/LEMIRE

T. +33 (0)4 42 25 49 62 | F. +33 (0)4 42 25 66 48

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019