

Séminaire des Doctorants « Ecotechnologies » de l'ARC ENVIRONNEMENT RHONE-ALPES

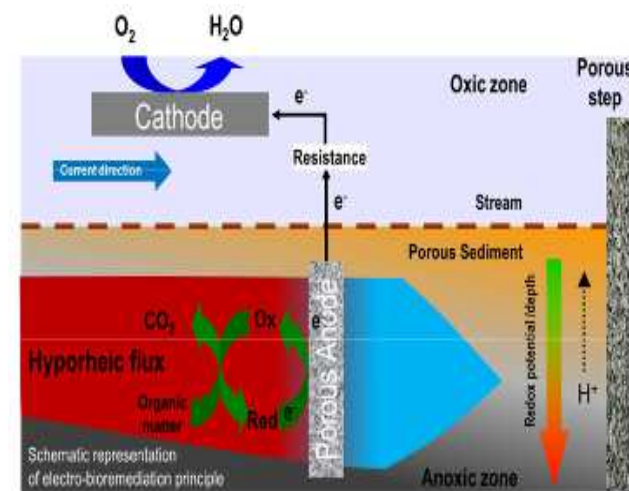
STIMULATION et MAÎTRISE ÉLECTROCHIMIQUE DE LA BIOREMÉDIATION DES EAUX

Doctorant Lucas JOBIN

Thèse financée par
Région Rhône-Alpes
Projet ANR OH RISQUE 2014

Directeur de Thèse :
Ph. Namour ISA/Irstea

Co-Dir :
P. Breil Irstea.





PLAN

I – Contexte du projet

II – L'auto-épuration naturelle en rivière

III – La pile à combustible microbienne sédimentaire

IV – La démarche expérimentale

V – Conclusion

Cadre réglementaire autour de l'Environnement

ETAT des EAUX DE SURFACE

EU : Directive cadre sur l'eau 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000



FR : loi n°2006-1772 sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 : LEMA

EMISSION DE GES

Stratégie Europe 2020



OBJECTIFS

Garantir leur bon état écologique et chimique

2015

Réduction de GES 20% rapport aux émissions de 1990

2020

Motivation du sujet de thèse

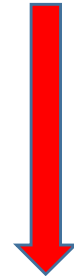
QUALITÉ DES
MILIEUX AQUATIQUES

Garantir leur bons états
écologique et chimique



GAZ à EFFET de SERRE

Réduction de GES 20%
rapport aux émissions de 1990



SANTÉ

Réduction des gaz nocifs
pour la santé



ENERGIE



STIMULATION et MAITRISE ELECTROCHIMIQUE
DE LA BIOREMEDIATION DES EAUX



PLAN

I – Contexte du projet

II – L'auto-épuration naturelle en rivière

III – La pile à combustible microbienne sédimentaire

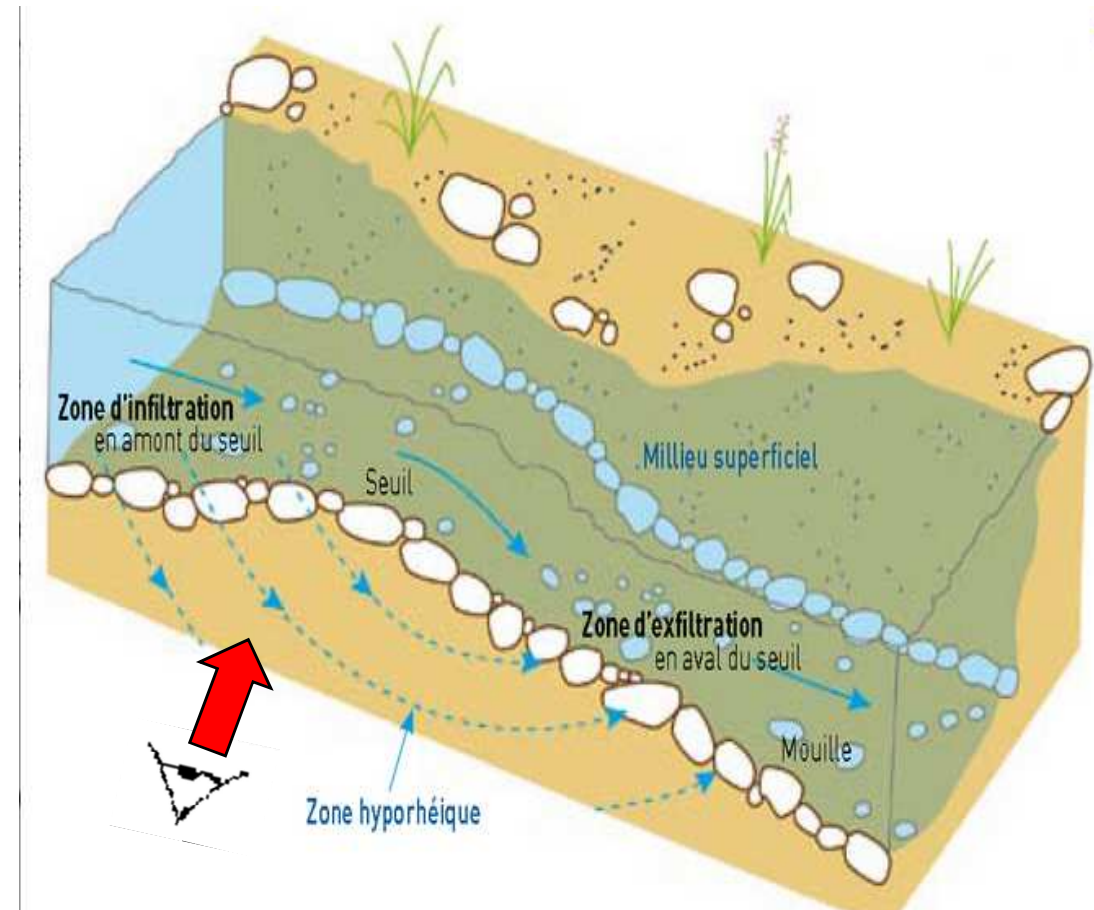
IV – La démarche expérimentale

V – Conclusion

L'Environnement sujet à l'auto-épuration

La Zone hyporhéique

- Flux de matières dissoutes et particulaires
- Accumulation de polluants organiques et minéraux
- Gradients physico-chimiques forts (T°C, pH, O₂ dissous, intensité lumineuse, Concentrations en polluants...)

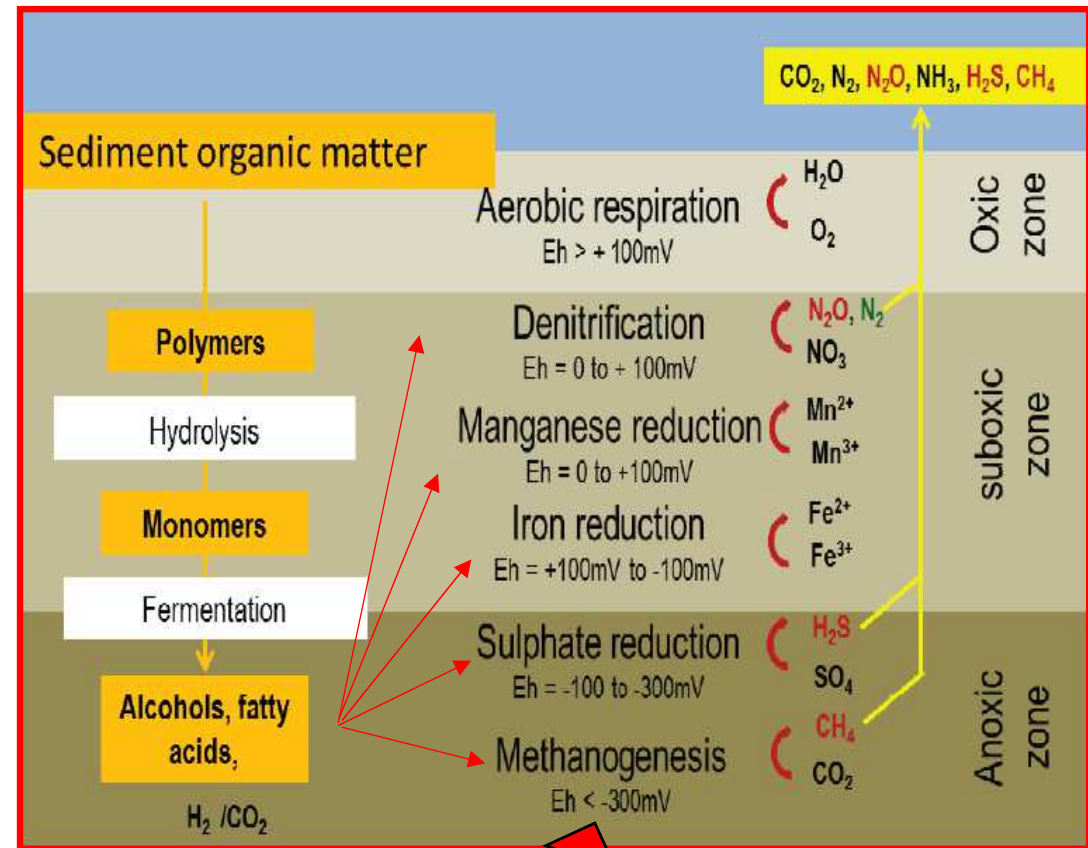


Principe de l'auto-épuration en milieu poreux

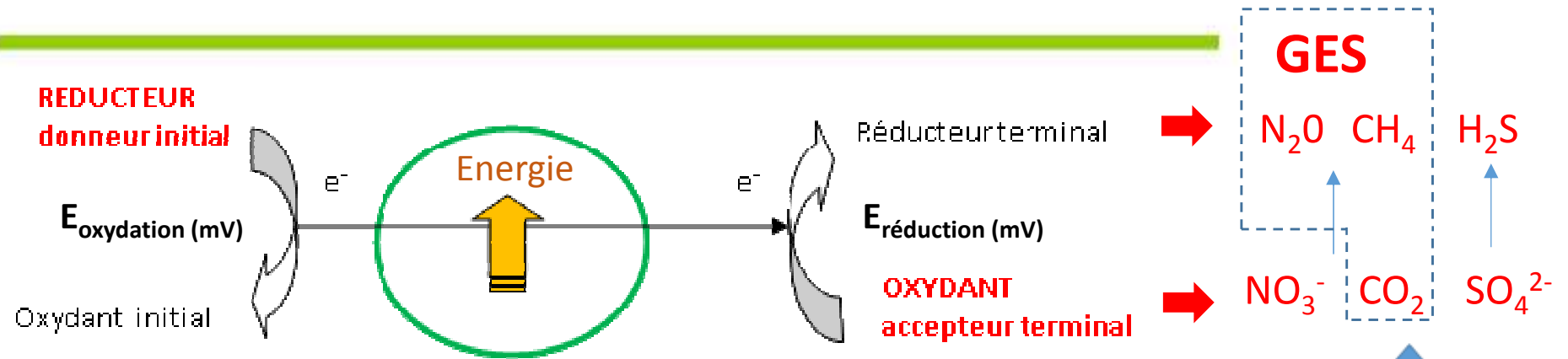
Les Réacteurs biogéochimiques

- Développement de communautés bactériennes riches et variées
- Présence de « hot-spot » : siège d'activités métaboliques intenses
- Répartition des « hot-spot » suivant les gradients physico-chimiques

Cycles biogéochimiques des éléments C, N, Fe, Mn, S



Rôle des bactéries dans l'auto-épuration



Respirations chez les Bactéries	Donneur initial	Accepteur terminal
Aérobies Chimio-organotrophes	Organique (AGV)	O_2
Anaérobies Chimio-organotrophes	Organique (AGV)	Fe^{3+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , MnO_2 , CO_2 ...
Aérobies Chimiolithotrophes	Minéral	O_2
Anaérobies Chimiolithotrophes	Minéral	NO_3^- , SO_4^{2-}



PLAN

I – Contexte du projet

II – L'auto-épuration naturelle en rivière

III – La pile à combustible microbienne sédimentaire

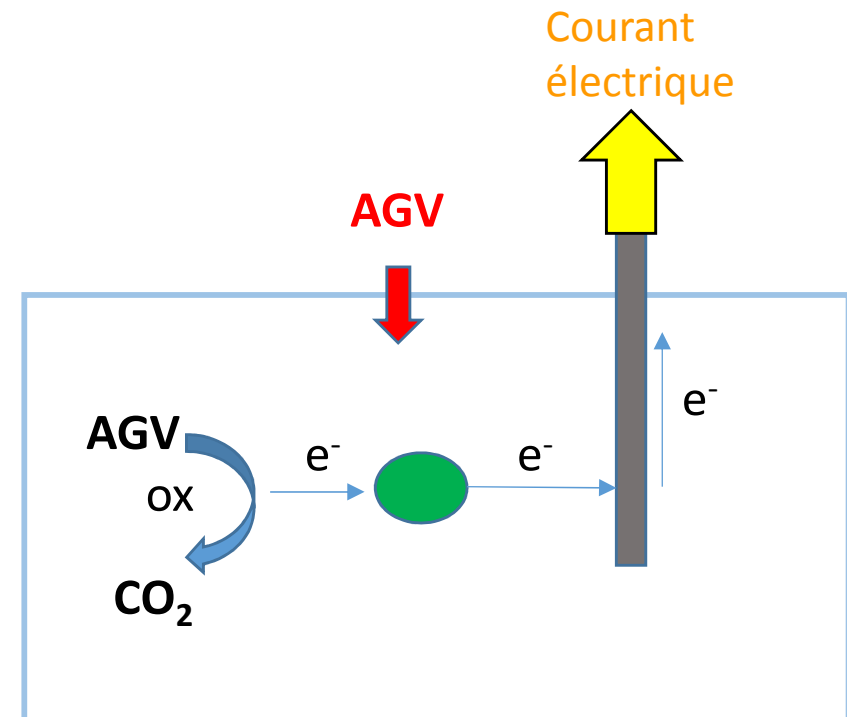
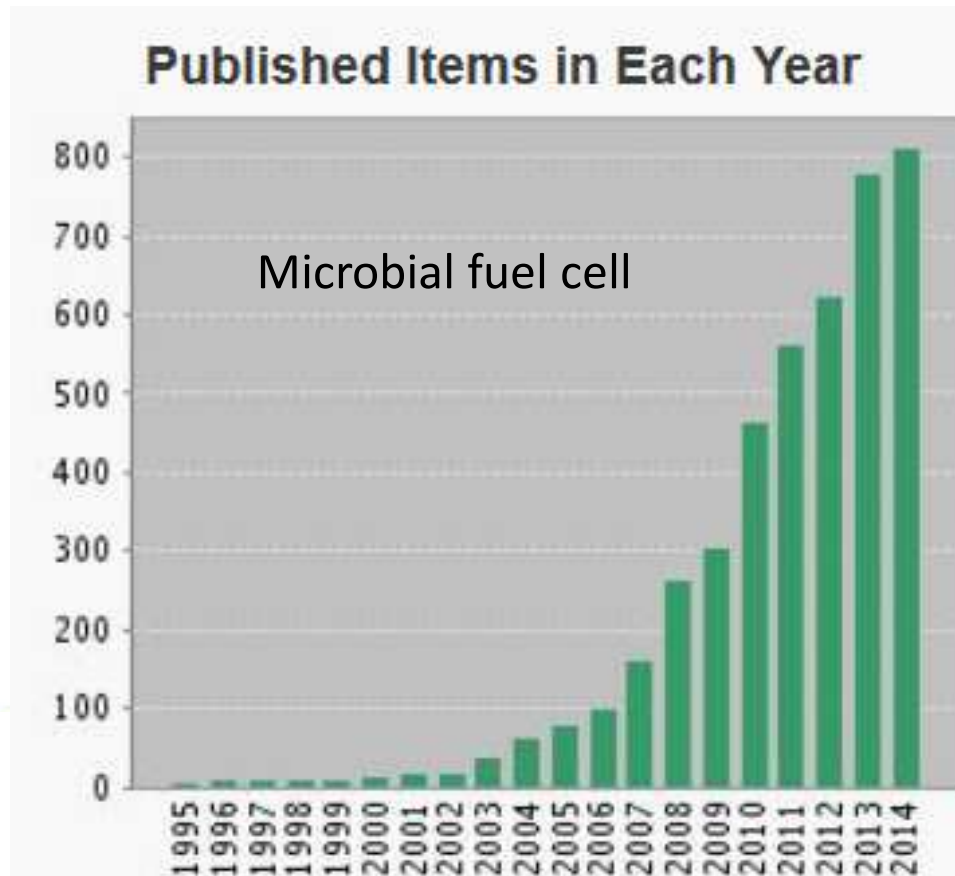
IV – La démarche expérimentale

V – Conclusion

Principe de la pile à combustible microbienne

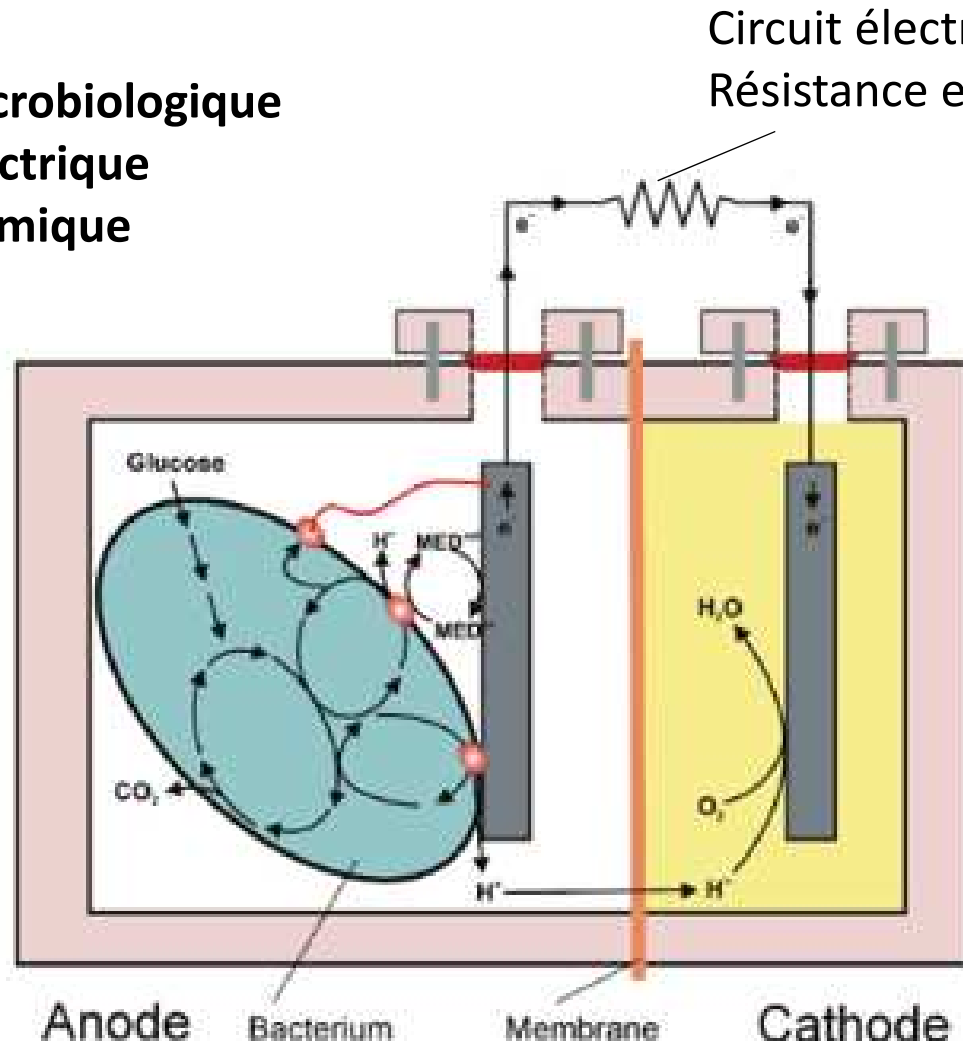
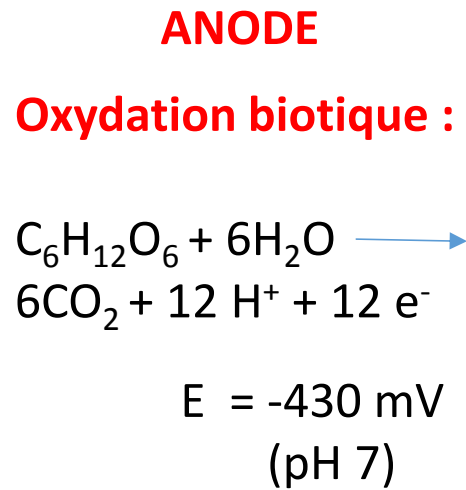
- ➔ **Pile** = Générateur d'électricité
- Combustible** = Produit chimique consommé dans la pile (AGV)
- Microbienne** = Mise en œuvre de bactéries qui consomment le combustible (AGV)

Biopile	Panneau solaire (1m ²)	Centrale nucléaire
≈ 100 mW	170 W	900 MW

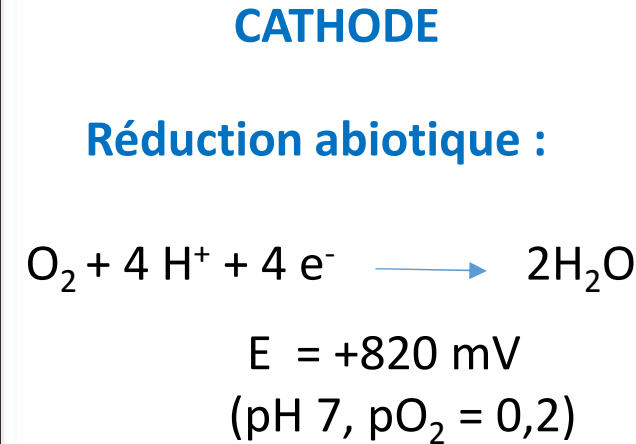


Principe de la pile à combustible microbienne

- Caractérisation **microbiologique**
- Caractérisation **électrique**
- Caractérisation **chimique**



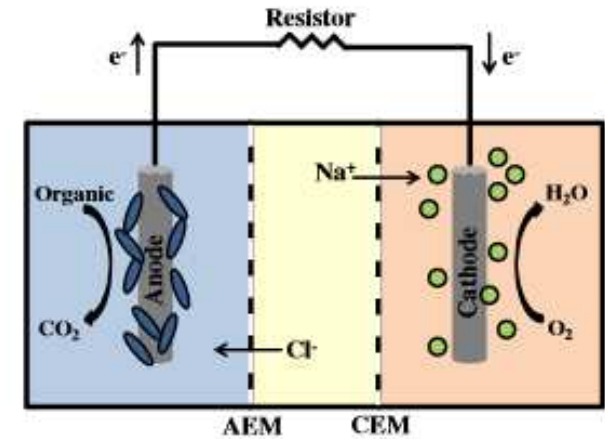
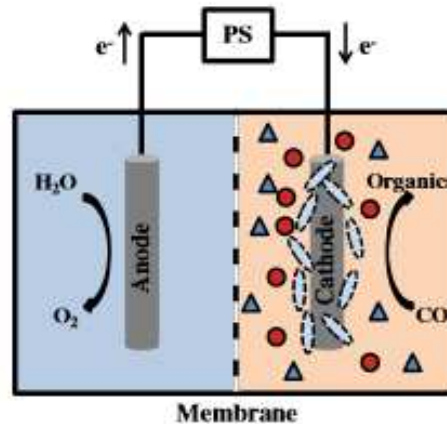
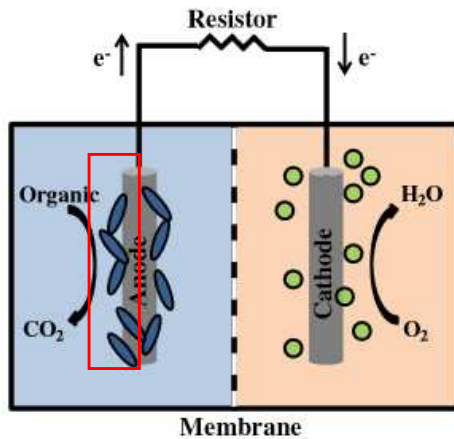
Circuit électrique externe
Résistance externe



Etat de l'art de la pile à combustible microbienne

Potentiel d'applications variées

● Anode Bacteria
 ◻ Cathode Bacteria
 ● H₂
 ● O₂
 ● CO₂
 ▲ Organics



**MRC : Stimulation dégradation
Pollution organiques (HAP, PCB)**

**MES : Synthèse molécules d'intérêt
(Molécules organiques, métaux)**

MDC : désalinisation

➔ Transfert d'électrons intense dans le **biofilm** !

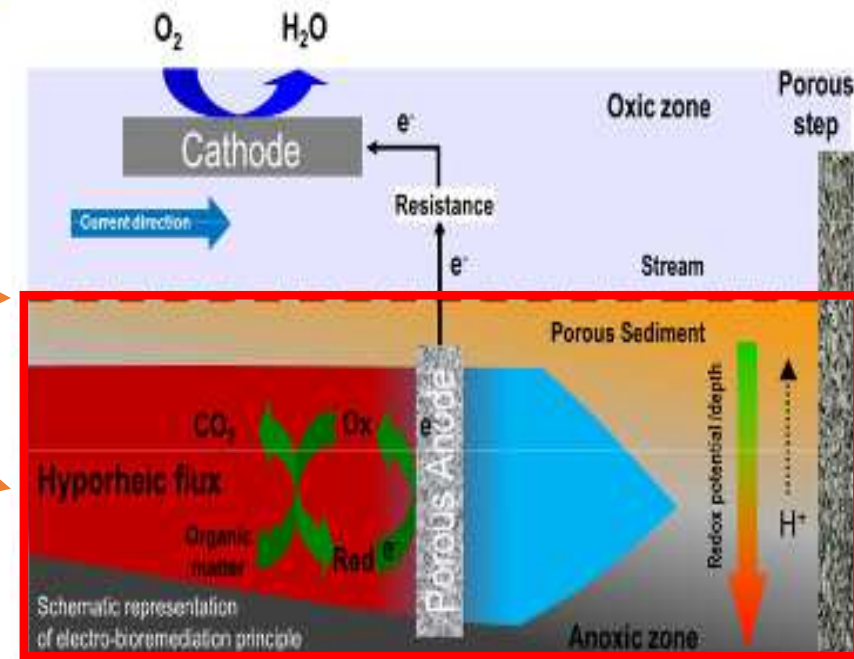
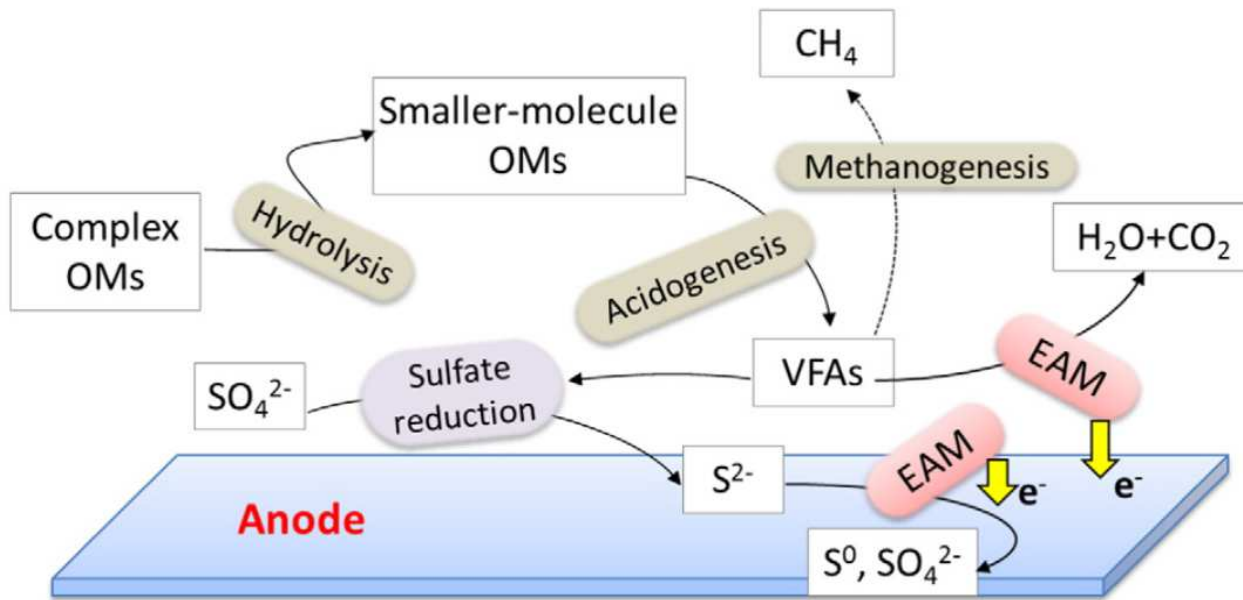


- Nature du transfert d'électrons à l'anode
- Organisation des communautés bactériennes selon les gradients physico-chimiques (T, O₂, pH, nutriments..)
- Interaction entre ces communautés
- Evolution des communautés dans le temps...

La pile à combustible microbienne sédimentaire

→ Pile à combustible microbienne implanté dans la rivière

Membrane = Interface eau-sédiment
Combustible = MO apporté par la rivière

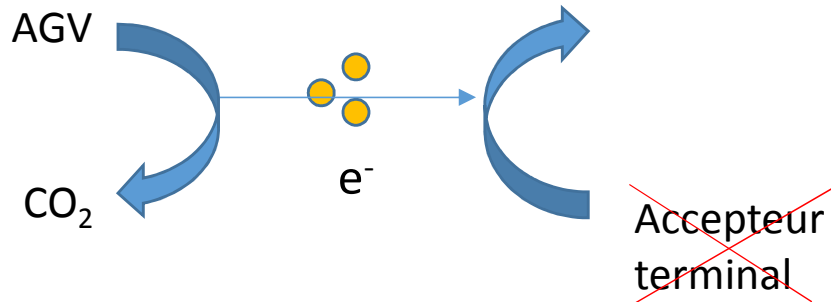


Exemple cycle du S

La Stimulation et Maitrise Electrochimique du milieu

Comment **STIMULER** ?

Milieu sans pile

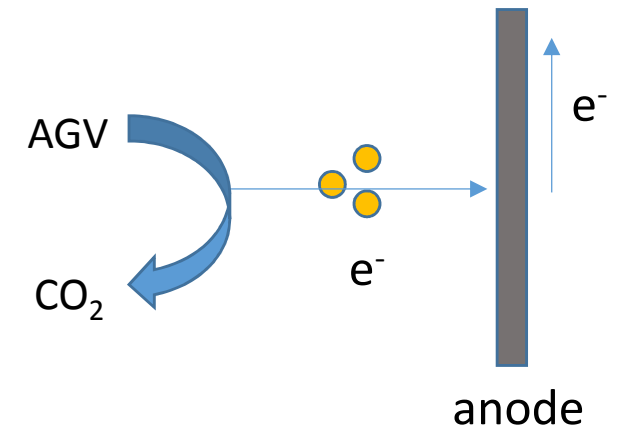


- Accepteur terminal faiblement concentrée
- Accepteur terminal difficilement accessible

CONSEQ : Biodégradation limitée

Impact grave des déversoirs d'orage

Milieu avec pile

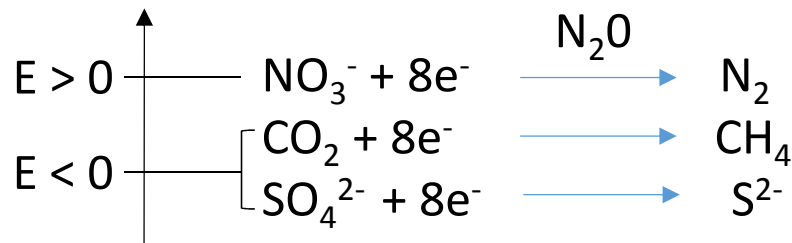
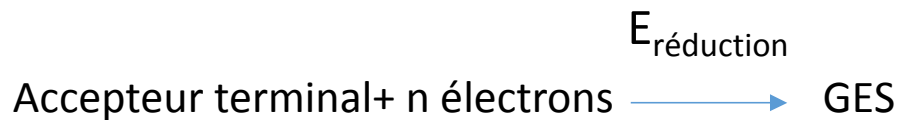
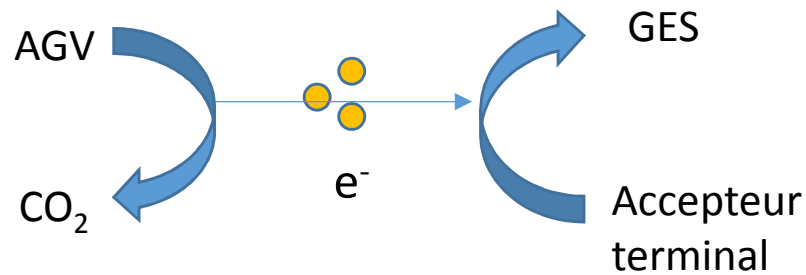


Solution de traitement de charges organiques importantes

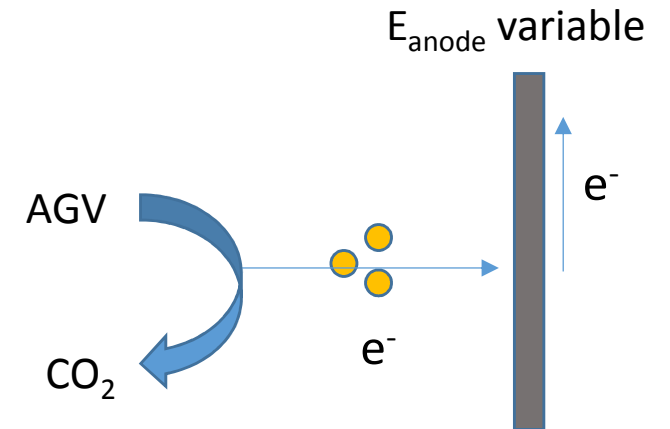
La Stimulation et Maitrise Electrochimique du milieu

Comment MAITRISER ELECTROCHIMIQUEMENT ?

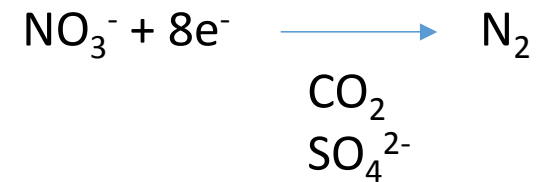
Milieu sans pile



Milieu avec pile



Maintenir $E_a > 0$



CONSEQ GES : Réchauffement climatique...

Intérêt sanitaire dans les égouts



La Stimulation et Maitrise Electrochimique du milieu

Quelle mise en œuvre pour

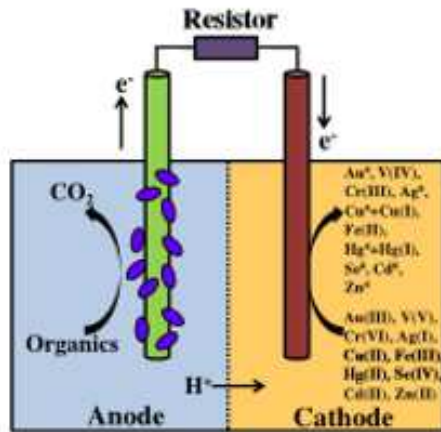
STIMULER LA BIODEGRADATION

et

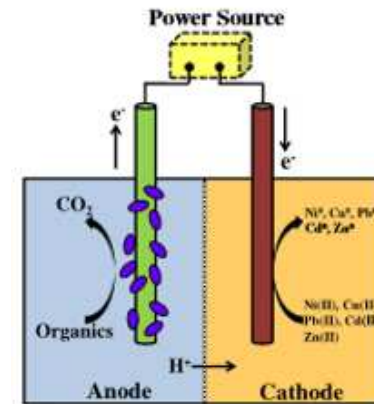
?

ORIENTER LE POTENTIEL A L'ANODE

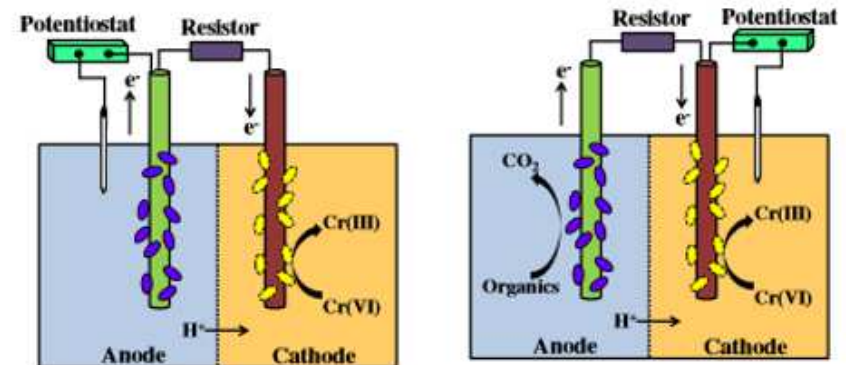
Montage « passif »



Montage « actif »



VS



Lien entre R_{ext} – E_{anode} – métabolisme bactérien



PLAN

I – Contexte du projet

II – L'auto-épuration naturelle en rivière

III – La pile à combustible microbienne sédimentaire

IV – La démarche expérimentale

V – Conclusion

La démarche expérimentale

Conditions maîtrisées

Laboratoire : « Preuve du concept »
Flacons de 350 mL



Pilote

Essais en statique : Microréacteurs de 6L



Essais en dynamique : Canaux de 1 m avec recirculation

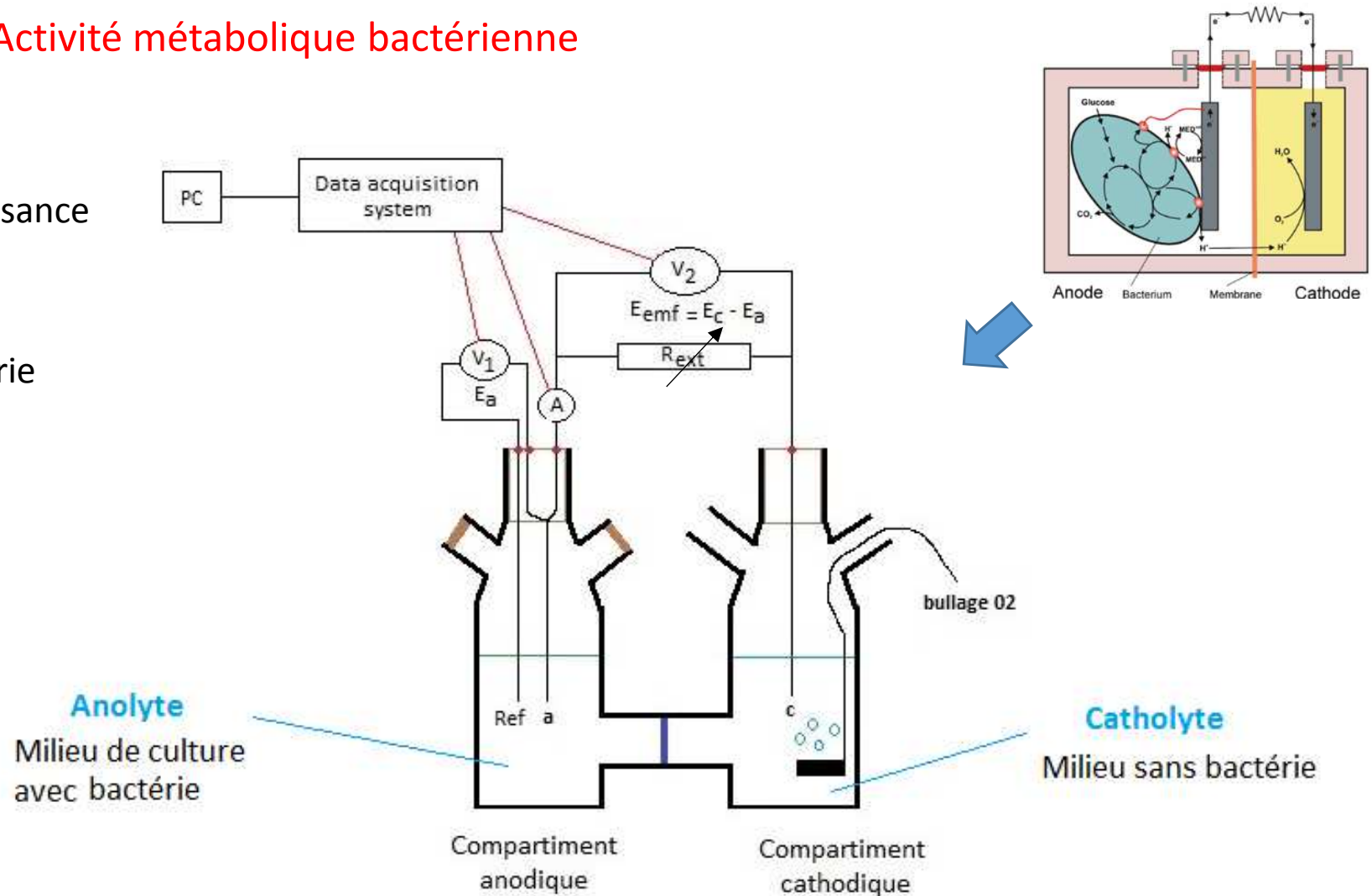
Conditions réelles
en rivière

Essais en statique : Flacons de paille

Potentiel REDOX vs Activité métabolique bactérienne

➤ **Suivi ELECTRIQUE :**
Tension, Intensité, Puissance

➤ **Suivi CHIMIQUE :**
GES libéré par la bactérie



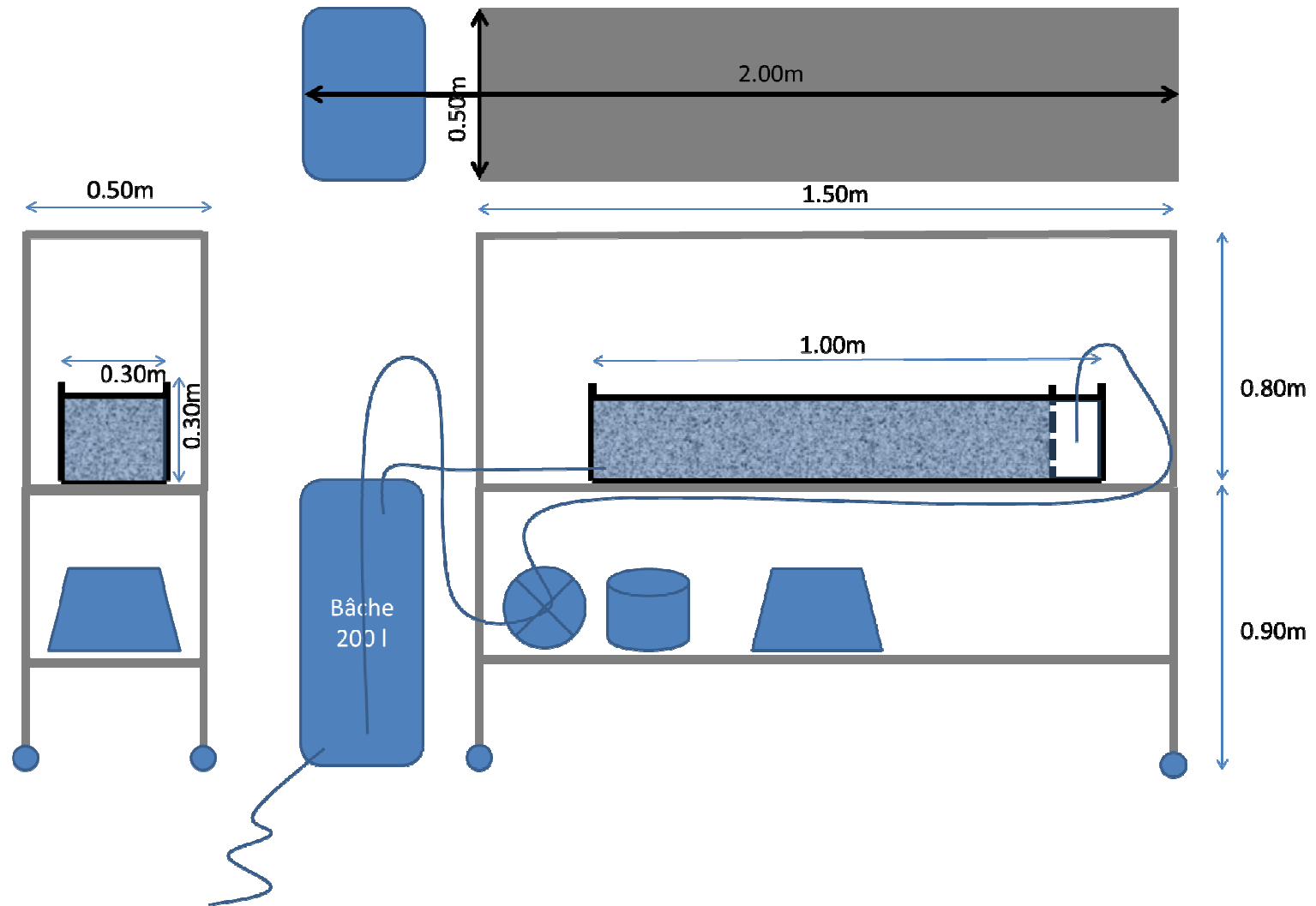


Electricité / Electronique

Chimie / microbiologie



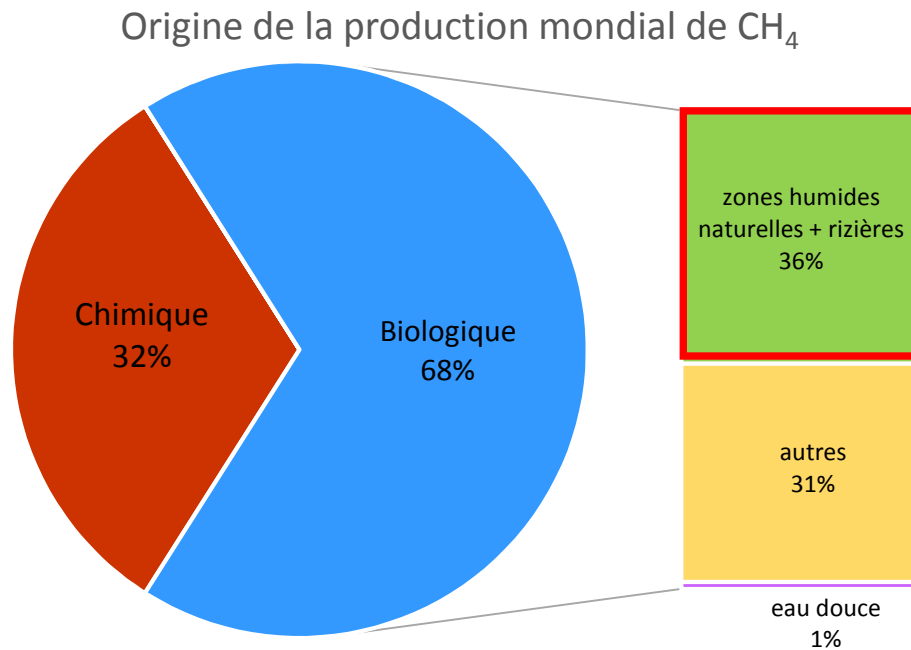
Essais en dynamique : les canaux



Essais en dynamique : La rivière

Chaudanne, site expérimental de l'OTHU

GES : > 95 % CH₄ (1L CH₄ /m²/j)

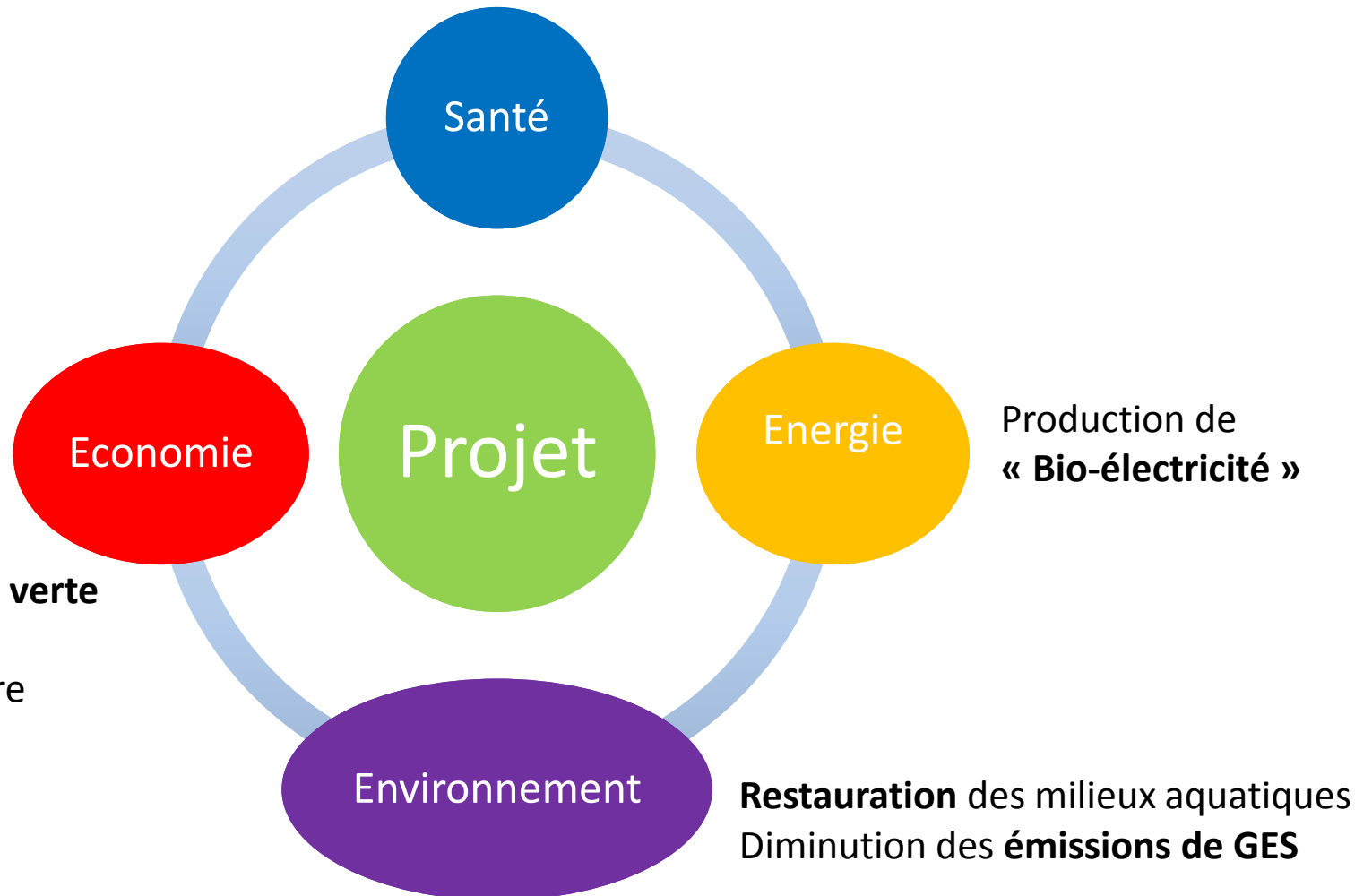


Adapté de Kvenvolden et Rogers, 2005



CONCLUSION sur les ENJEUX/ OPPORTUNITÉS

Égout : Diminution émissions gaz nuisibles



**Participation à la Croissance verte
Régional/ national**
Création d'une nouvelle filière
éco-technologique

Merci pour votre attention