

## TD 3 - Les roches, sources d'énergie pour les êtres vivants: étude de la biosphère profonde

### 1. La vie dans les roches : ça existe !

#### 1.1. Des environnements profonds...

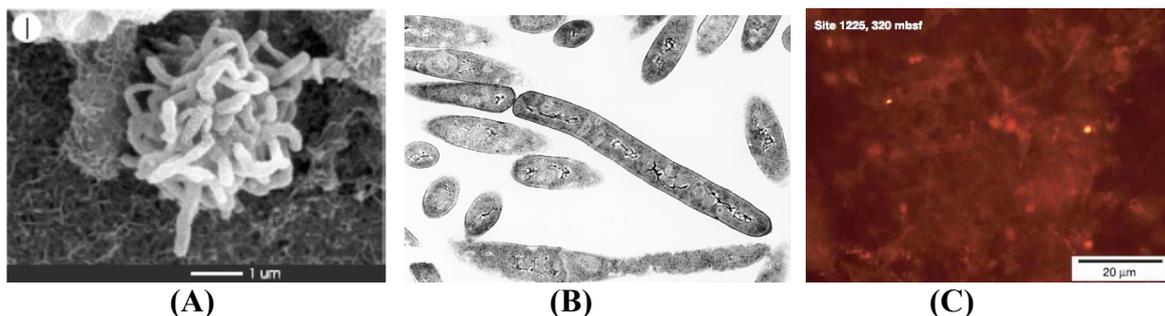
Sédiments profonds, cavités souterraines et aquifères profonds, sous-sols océaniques et continentaux, systèmes hydrothermaux, réservoirs d'huile et de pétrole.

#### 1.2. ... présentant des caractéristiques physico-chimiques contraignantes...

Citez quelques caractéristiques physico-chimiques des environnements souterrains susceptibles de limiter ou de contraindre fortement la présence d'organismes vivants.

#### 1.3. ... abritent des êtres vivants

En dépit des considérations précédentes, des organismes vivants sont observés dans ces environnements profonds. Une illustration de quelques organismes identifiés dans ces contextes est fournie.



**Figure 1 – Mise en évidence de la présence de vie dans des environnements profonds.**

(A) Observation MEB de la surface de basaltes altérés du flanc de la ride Juan de Fuca. (Torseth et al., 2001)

(B) *Bacillus infernus*, observée à 2.7 kilomètres de profondeur (schistes argileux), à plus de 60°C. (Boone et al., 1995)

(C) Bactéries vivantes identifiées par la méthode FISH dans des sédiments océaniques profonds, à 320m sous la surface du plancher océanique. (Schippers et al., 2005)

Par quelle technique de biologie moléculaire l'image (C) a-t-elle été obtenue ? Que met elle en évidence ? Pourquoi utiliser une méthode d'identification in situ, quelle serait l'alternative ?

La **Table 1** rassemble quelques occurrences d'organismes vivants identifiés dans des environnements profonds. Leur position phylogénétique a été reportée dans l'arbre du Vivant fourni en **Figure 2**. Par quelle méthode a été obtenu l'Arbre du Vivant ? Quelles sont les trois grandes lignées du Vivant et indiquez leurs caractéristiques propres. A quelle(s) lignée(s) appartiennent les espèces identifiées ? A quel niveau s'insèrent-elles dans l'arbre ?

Espèces identifiées	Environnement	Localisation	Profondeur	Température	Référence
<i>Desulfosarcina/Desulfococcus</i> (Bactérie) <i>Methanosarcinales</i>	Sédiments marins, le long de failles réservoirs de méthane	Marge au large de la côte de l'Oregon	15 cmbsf sous 600-800 m d'eau	4°C	<i>Boetius et al., 2000</i>
<i>Bacillus infernus</i>	Schistes argileux et sables consolidés (domaine continental)	Taylorville Basin, Virginie (USA)	2 700m	61°C	<i>Boone et al., 1995</i>
<i>Desulfurococcus</i> (Archée) <i>Thermus/Deinococcus</i> <i>Archaeoglobus</i>	Sources chaudes souterraines Axe de dorsale océanique, noirs, Réservoirs d'huile	Islande	1 500 – 2 000 m	71 – 91°C 60 - 95°C	<i>Marteinsson et al., 2001</i>

**Table 1- Quelques microorganismes identifiés par séquençage (ARNr 16S) dans des environnements profonds.**

## 2. La vie en profondeur, comment est-ce possible?

### 2.1. Les réactions du vivant sont basées sur des transferts d'électrons

La vie est basée sur des mécanismes de transfert d'électrons, assurant la production d'énergie (ATP). Ces réactions mettent en jeu des donneurs et accepteurs d'électrons. Les deux réactions les plus classiques, basées sur ces mécanismes, sont la photosynthèse et la respiration aérobie.

Définissez les termes "photosynthèse" et "respiration aérobie". Ecrivez les demi-équations électroniques de la photosynthèse et de la respiration aérobie.

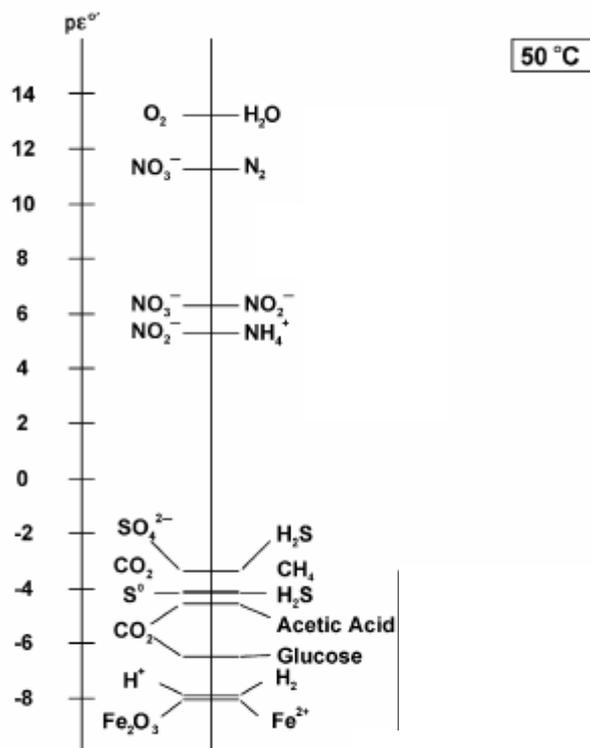
### 2.2. Des métabolismes adaptés aux contraintes de l'environnement

Reprenez les contraintes des milieux profonds citées au 1.2 et déterminez pour chacune d'elles:

- dans un premier temps quels mécanismes métaboliques sont rendus impossibles par ces caractéristiques physico-chimiques,
- puis quelles adaptations métaboliques et/ou physiologiques peuvent assurer une forme de vie dans ce contexte.

### 2.3. Les sources d'énergie potentielles pour la biosphère profonde

Une échelle redox regroupant quelques couples redox vous est donnée en **Figure 3**. Identifiez les donneurs et accepteurs d'électrons potentiels pouvant intervenir dans des réactions de chimiosynthèse et/ou respiration anaérobie (c'est-à-dire dans un des métabolismes de la biosphère profonde). Quelles peuvent être les sources de ces donneurs et accepteurs d'électrons potentiels dans un contexte océanique ou continental profond?



**Figure 3 – Echelle des potentiels redox de quelques couples redox à 50°C et 1bar, à pH neutre.**

#### 2.4. Les métabolismes de la biosphère profonde et leurs rendements énergétiques

Nommez les métabolismes correspondants aux couples redox identifiés au 2.3.

Ecrivez les demi-équations électroniques et la réaction bilan de :

- la méthanogenèse autotrophe (oxydation de  $H_2$  / production de méthane à partir de  $CO_2$ )
- la sulfato-réduction (réduction des sulfates en  $H_2S$  / oxydation de matière organique  $CH_2O$ )

Quels sont, d'après l'échelle redox étudiée au 2.3, les métabolismes les plus favorables d'un point de vue énergétique?

Les rendements énergétiques des différents métabolismes basés sur la réduction ou l'oxydation de composés inorganiques dépendent de la nature des molécules utilisées comme donneur ou accepteur d'électrons. Ils peuvent être évalués en déterminant l'énergie libre de Gibbs des réactions en jeu. Comment est calculée cette valeur? Pour quelles valeurs de  $\Delta G$ , les réactions considérées seront thermodynamiquement plus favorables ?

Le paramètre  $pe'_0$  indiqué sur l'échelle d'oxydo-réduction précédente est lié à  $\Delta G_0$ , selon une relation du type :

$$pe'_0 = -A \cdot \Delta G_0 + B \quad (A, B \text{ constantes positives pour une réaction donnée}).$$

D'après les considérations précédentes, quel est le métabolisme le plus favorable d'un point de vue énergétique à 50°C?

## 2.5. Répartition des métabolismes en profondeur dans un système hydrothermal sous-marin

Le système hydrothermal du Guaymas Basin est localisé à l'aplomb de la ride Est-Pacifique, au large de la Californie. Une couche sédimentaire de 100 à 500 m d'épaisseur (formée par la forte productivité biologique dans les eaux de surface), abrite des microorganismes. On note la présence de méthane, présentant un  $\delta^{13}\text{C}$  de l'ordre de -43 à -51 ‰.

-Quelle est l'origine du méthane détecté dans cet environnement ?

Différentes techniques de biologie moléculaire (séquençage des ADN codant pour les ARNr16S, analyse de biomarqueurs lipidiques, ...), ont permis de décrire en partie la biomasse présente dans ces sédiments. Une liste des microorganismes identifiés est fournie en **Table 2**.

-Quelles sont les caractéristiques communes à ces différents microorganismes ?

-D'après les résultats du 2.4, esquissez le profil de répartition des différents microorganismes et de leurs métabolismes en fonction de la profondeur.

-Quels sont les facteurs limitants du développement de cette biomasse souterraine ?

Genre	Métabolisme	Référence
<i>Beggiatoa</i>	Sulfo-oxydante	Jannasch et al., 1989
<i>Thermodesulfobacterium</i>	Sulfato-réductrice	Jeanthon et al., 2002
<i>Thermococcus</i>	Archée sulfato-réductrice	Canganella et al., 1998
<i>Pyrococcus</i>	Archée sulfato-réductrice	Janasch et al., 1992
<i>Archaeoglobus</i>	Archée hyperthermophile	Burgraff et al., 1990
<i>Geoglobus ahangari</i>	Archée hyperthermophile Fe(III)-réductrice	Kashefi et al., 2002
<i>Methanocaldococcus</i>	Méthanogène hyperthermophile	Jeanthon et al., 1999
<i>Methanopyrus</i>	Méthanogène hyperthermophile	Huber et al., 1989
	Archées méthanotrophes anaérobies	Teske et al., 2002

**Table 2 – Microorganismes identifiés dans le Guaymas Basin et métabolismes associés.**

## 3. Perspectives pour l'apparition de la vie sur Terre et ailleurs...

En quoi l'ensemble des observations faites dans ce TD peuvent-elles constituer des arguments pour un modèle de l'apparition de la vie sur Terre? Décrivez les principes de ce modèle. Quels arguments supplémentaires soutiendraient ce modèle? Quel(s) modèle(s) alternatif(s) connaissez-vous?

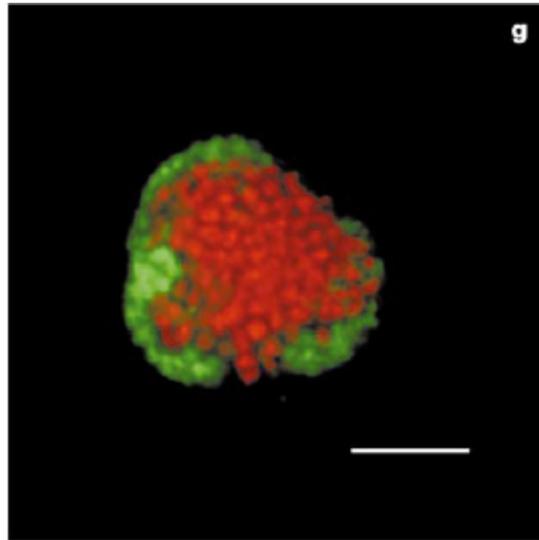
## 4. Impact à grande échelle des métabolismes de la biosphère profonde

### 4.1. La sulfato-réduction et le cycle du carbone

Reprenons la réaction de réduction des sulfates par les Bactéries sulfato-réductrices du 2.4. Sous quelle forme chimique le  $\text{CO}_2$  produit par cette réaction est-il présent dans l'eau de mer? Avec quel(s) ion(s) majeur(s) de l'eau de mer est-il susceptible de réagir? Quel type de précipitation résulte donc de l'activité des Bactéries sulfato-réductrices?

#### 4.2. Une forme originale de stockage du méthane

La **Figure 4** a été obtenue par marquage avec des sondes fluorescentes distinctes (rouge au centre/verte en périphérie) des ARNr 16S d'Archées/Bactéries dans des sédiments marins. Les bactéries ont été identifiées comme des bactéries sulfato-réductrices, tandis que les Archées sont méthanotrophes.



**Figure 4** – *Identification in situ d'agrégats d'Archées/Bactéries par des sondes ARNr fluorescentes. Les Archées sont montrées en rouge et les Bactéries sulfato-réductrices en vert. Barre d'échelle = 5  $\mu$ m. (Boetius et al., 2000)*

Qualifiez l'assemblage observé en **Figure 4**. Ecrivez les demi-équations des métabolismes de sulfato-réduction (reprendre les résultats du **2.4**) et de méthanotrophie en jeu. D'après les résultats du **4.1**, quel est le devenir du méthane en présence de ces microorganismes?

D'après les conclusions que vous avez obtenues au **4.1** et au **4.2**, sur quel(s) mécanisme(s) de grande échelle les métabolismes de la biosphère profonde peuvent-ils avoir un impact?

