

Olympiades de géosciences - 2016

Nouvelle Calédonie et AEFE

Épreuve écrite du 20 avril 2016

Durée de l'épreuve : 4h

Le sujet se compose de trois exercices notés sur dix points chacun. Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

La calculatrice est autorisée.

Exercice 1 - Isua, un des berceaux de la vie terrestre ?

Au moment même où un robot de 900 g recueille des informations sur Mars pour savoir si une vie extraterrestre s'y est développée, des scientifiques tentent de comprendre comment la vie est apparue sur Terre. L'étude de roches vieilles de 3,9 Ga*, **les serpentinites d'Isua**, retrouvées au Groenland, pourrait peut-être aider à résoudre cette énigme. En effet des géologues pensent avoir trouvé des indices suggérant qu'elles auraient pu constituer un terrain propice à l'émergence de la vie. Mieux encore, elles auraient pu favoriser l'apparition de celle-ci.

Les serpentinites sont des roches océaniques qui peuvent actuellement se former dans deux contextes :

- au niveau des dorsales océaniques (ex : la dorsale de Gakkel, dans l'Océan Glacial Arctique)
- dans les fosses océaniques de subduction (ex : la fosse des Mariannes, au NW de l'Océan Pacifique)

*Ga : milliards d'années

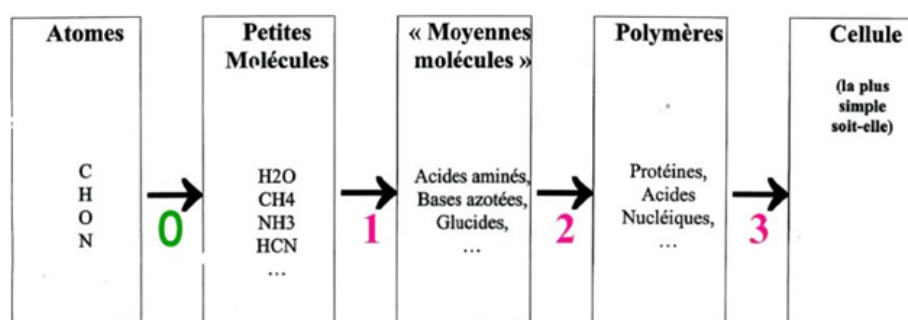
Journaliste scientifique, on vous a commandé un article sur ces énigmatiques serpentinites d'Isua.

Rédiger l'article en respectant les deux consignes suivantes :

- à partir des données concernant la formation actuelle des serpentinites, formuler une hypothèse sur le contexte de formation de celles retrouvées à Isua ;
- préciser en quoi ce contexte a pu favoriser l'émergence de la vie.

Document 1 : les principales conditions nécessaires à la synthèse des molécules du vivant (Source : document modifié de Pierre Thomas)

On pense que les premières cellules sont apparues sur Terre grâce à un enchaînement de réactions chimiques ayant permis la synthèse des premières molécules organiques (petites puis moyennes molécules, puis polymères). Cet enchaînement est présenté ci-dessous :



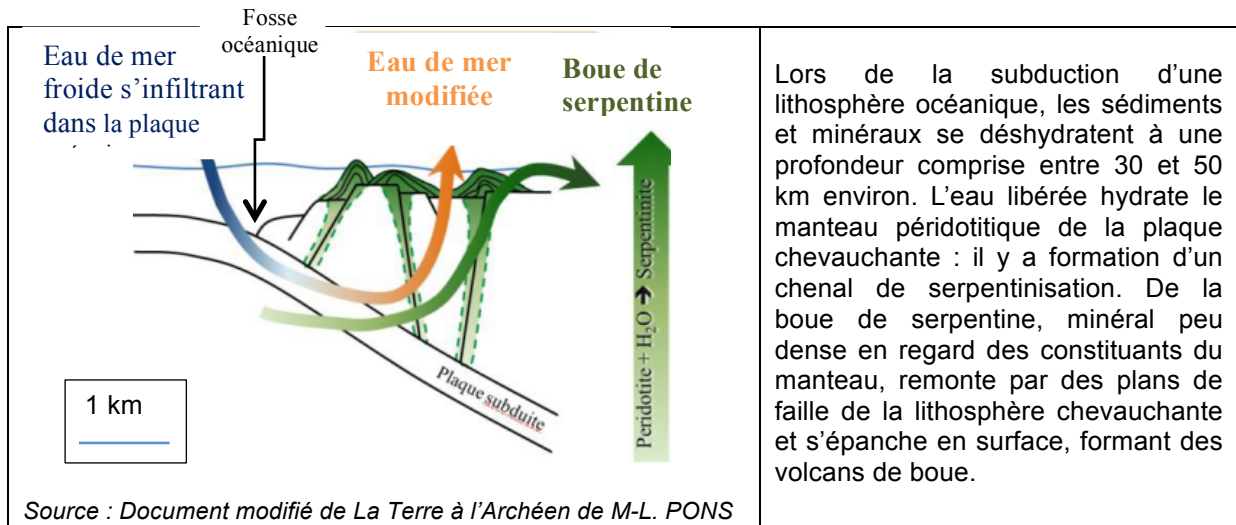
Pour que ces réactions aient lieu, il faut que les conditions suivantes soient réunies :

- ❖ la présence de molécules (CO₂, H₂, CH₄...) nécessaires au métabolisme énergétique des organismes ;
- ❖ l'apport de précurseurs pour la synthèse des molécules du vivant (exemple de précurseur : le méthane CH₄) ;
- ❖ le confinement des molécules : la concentration de molécules dans un espace restreint favorise les réactions chimiques entre elles ;
- ❖ l'apport de nucléotides nécessaires à la synthèse des acides nucléiques (ADN, ARN) et d'acides aminés nécessaires à la synthèse de protéines.

De plus les biochimistes pensent qu'un pH basique (> 7) et des températures comprises entre 150 et 200°C favorisent les réactions chimiques impliquées dans la fabrication des molécules utiles au vivant.

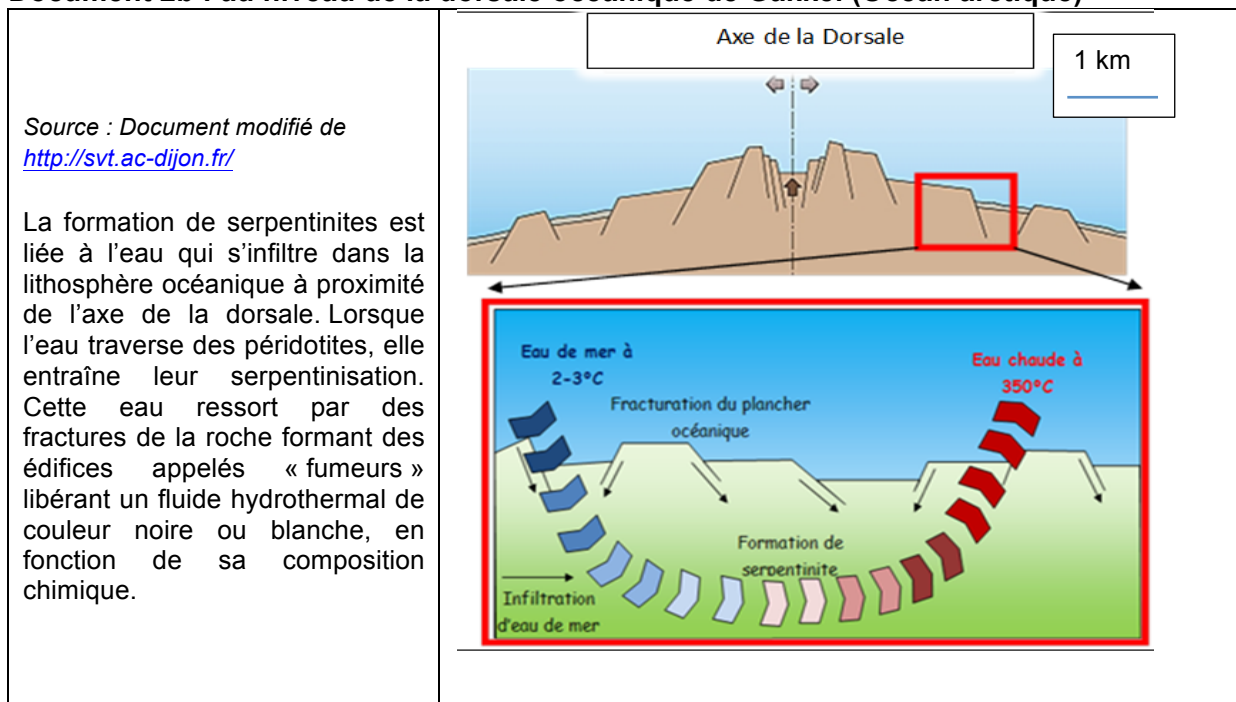
Document 2 : les contextes actuels de formation des serpentinites

Document 2a : dans la fosse des Mariannes (zone de subduction)



Lors de la subduction d'une lithosphère océanique, les sédiments et minéraux se déshydratent à une profondeur comprise entre 30 et 50 km environ. L'eau libérée hydrate le manteau péridotitique de la plaque chevauchante : il y a formation d'un chenal de serpentinitisation. De la boue de serpentinite, minéral peu dense en regard des constituants du manteau, remonte par des plans de faille de la lithosphère chevauchante et s'épanche en surface, formant des volcans de boue.

Document 2b : au niveau de la dorsale océanique de Gakkel (Océan arctique)

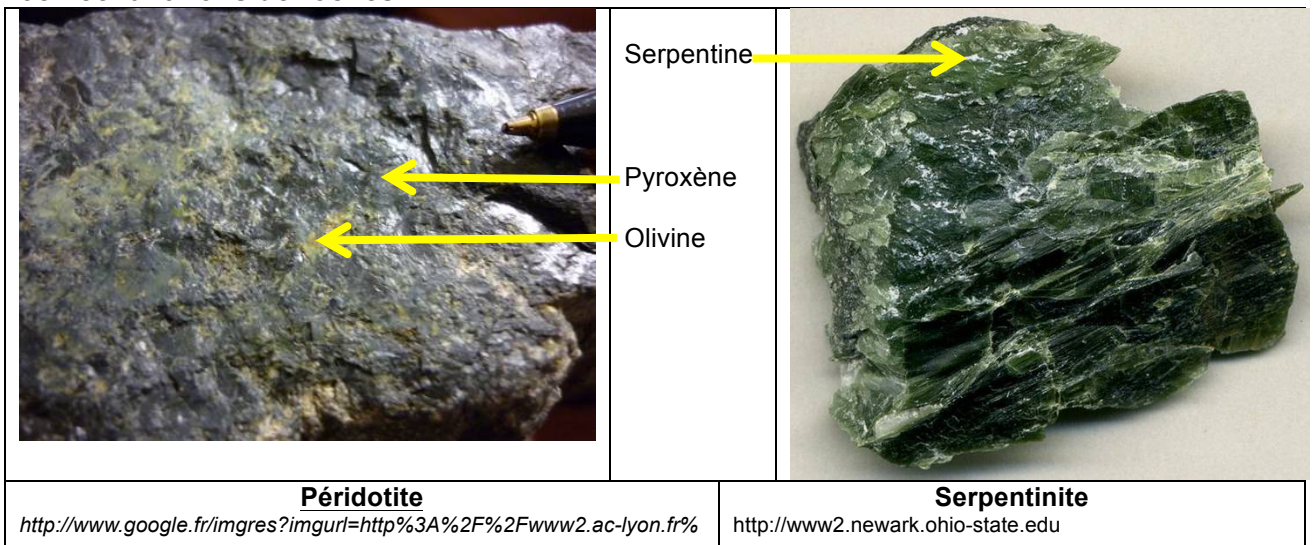


La formation de serpentinites est liée à l'eau qui s'infiltré dans la lithosphère océanique à proximité de l'axe de la dorsale. Lorsque l'eau traverse des péridotites, elle entraîne leur serpentinitisation. Cette eau ressort par des fractures de la roche formant des édifices appelés « fumeurs » libérant un fluide hydrothermal de couleur noire ou blanche, en fonction de sa composition chimique.

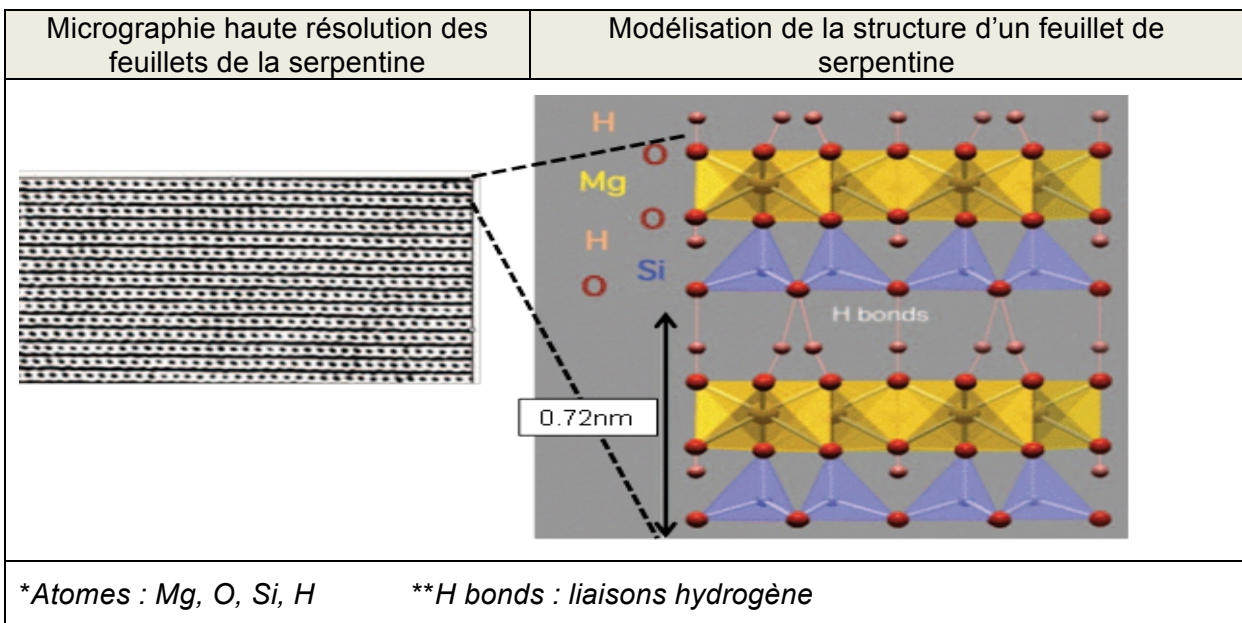
Document 3 : le processus de serpentinitisation

<p>3a : la formation d'un nouveau minéral, la serpentinite</p>	<p>3b : réactions simplifiées de serpentinitisation pour quelques minéraux d'une péridotite :</p>
<p>Lorsque l'eau de mer pénètre dans la lithosphère océanique, elle atteint en profondeur les péridotites, constituées principalement de pyroxènes et d'olivines ; là, elle réagit avec certains minéraux pour en former de nouveaux comme la serpentinite. C'est le processus de serpentinitisation. Lorsque la serpentinite devient le minéral dominant, on appelle la roche une serpentinite.</p>	<p>Pyroxène + H₂O → magnétite + SiO₂ + H₂</p> <p>Olivine + SiO₂ + H₂O → serpentinite</p> <p>4H₂ + CO₂ → CH₄ + 2H₂O</p>

3c : échantillons de roches



Document 4 : l'organisation cristalline d'une serpentine (minéral présent dans la serpentinite) Source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/>



Les feuillets de serpentine ont la capacité de retenir les molécules organiques (acides aminés, nucléotides,...), ce qui stabilise durablement leur structure chimique. L'organisation en feuillets ménage des espaces interstitiels où peuvent se concentrer les précurseurs des molécules du vivant : les serpentines assurent ainsi un rôle de confinement.

Document 5 : l'étude isotopique des roches

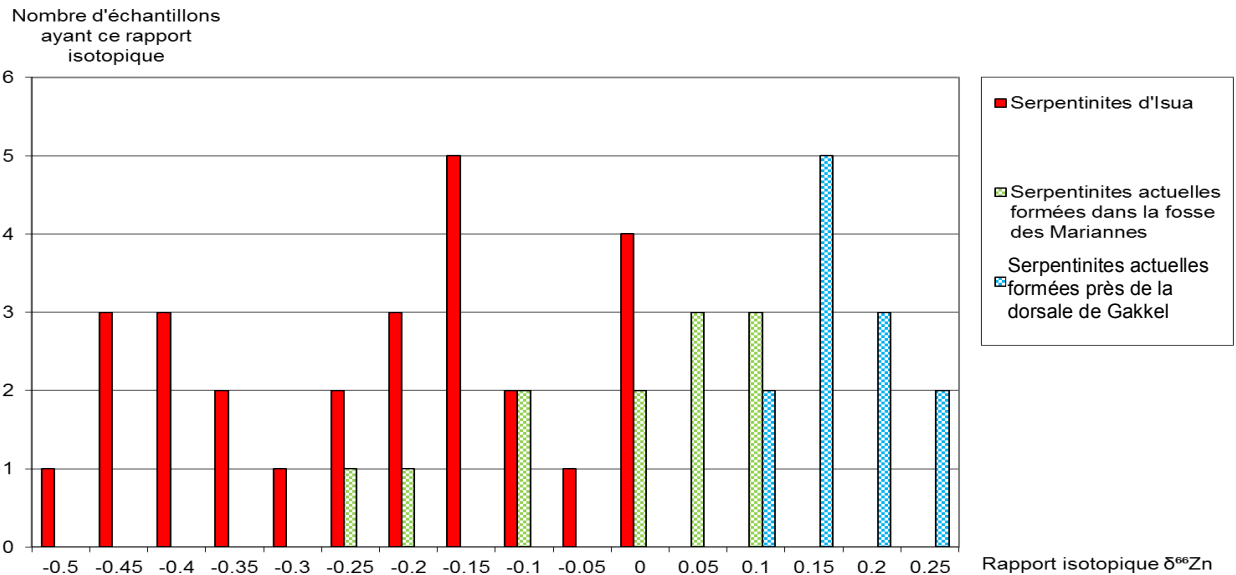
Document 5a : principe de l'étude des isotopes stables du zinc dans les roches

Des isotopes sont des atomes ayant un même nombre de protons et d'électrons mais un nombre de neutrons différents. Le zinc est un élément pouvant exister sous la forme de 4 isotopes stables : ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{67}Zn , ^{68}Zn et ^{70}Zn . La proportion de certains de ces isotopes comme le ^{66}Zn dans des roches est en partie corrélée avec leurs conditions de formation. Pour chaque roche, on peut ainsi déterminer un rapport isotopique appelé $\delta^{66}\text{Zn}$. Si deux roches ont un rapport isotopique $\delta^{66}\text{Zn}$ proche, on peut penser qu'elles proviennent de contextes de formation voisins.

Document 5b : étude comparative des rapports isotopiques du zinc de quelques serpentinites. (Source : document modifié de La Terre à l'Archéen de M-L. Pons)

Rapports isotopiques $\delta^{66}\text{Zn}$ mesurés sur des serpentinites actuelles (serpentinites de la fosse des Mariannes et serpentinites de la dorsale de Gakkel) avec ceux mesurés sur les serpentinites d'Isua.

Graphique présentant les rapports isotopiques $\delta^{66}\text{Zn}$ pour les différentes serpentinites



Document 6 : l'hydrothermalisme associé au processus de serpentinisation

Source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/>

Le processus de serpentinisation est toujours associé à la circulation de fluides hydrothermaux. À sa sortie, ces fluides hydrothermaux qui se distinguent de l'eau de mer par leur composition et leur température peuvent interagir avec l'eau de mer. On connaît trois types de sources hydrothermales :

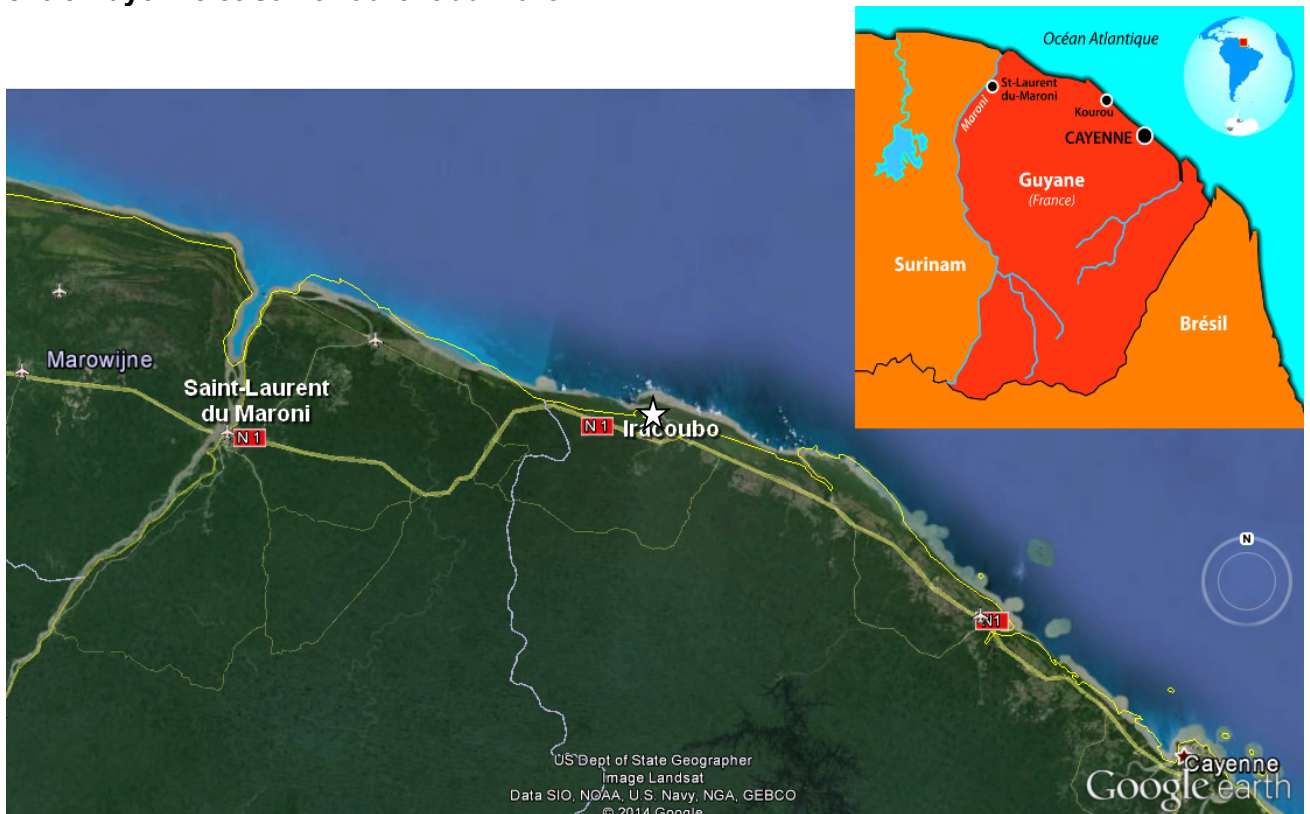
Type d'hydrothermalisme		Fumeurs noirs	Fumeurs blancs	Volcans de boue
Caractéristiques du fluide hydrothermal	Température	Haute T > 250°C	Basse T < 100°C	Intermédiaire T ~ 150 à 200°C
	pH	Bas pH < 3	Elevé pH >~ 9	Elevé pH ~ 9 à 12
	Composition	Riche en sulfures	Riche en sulfates	Riche en CO ₂
Exemple de localisation géographique		À proximité de la dorsale Pacifique	À proximité de l'axe de la dorsale Atlantique	Dans la fosse océanique des Mariannes

Exercice 2 - Fausse plage !

Lors d'une discussion entre amis, l'un des interlocuteurs fait part de l'étonnement causé par les grandes étendues blanchâtres et d'aspect sableux, traversées en voiture pour les rejoindre, entre Iracoubo et Saint-Laurent du Maroni, en Guyane. Il affirme que ces formations blanchâtres et sableuses sont les restes d'un rivage et témoignent donc d'une occupation passée de cette région par la mer. Ces formations ont fait l'objet de nombreuses études.

En s'appuyant sur les documents fournis, montrer que l'explication proposée est erronée.
En proposer une autre, conforme aux données documentaires.

Document 1 : situation géographique de la Guyane française et localisation de la RN1 entre Cayenne et Saint-Laurent du Maroni.



☆ Localisation de Bellevue

Document 2 : le village de Bellevue, commune d'Iracoubo. (In atlas des paysages de Guyane, Direction régionale de l'environnement)



Document 3 : la même formation que celle observée en plan à Bellevue, mais cette fois-ci vue en coupe sur la RN1 entre Cayenne et Saint-Laurent du Maroni) au point kilométrique 96.

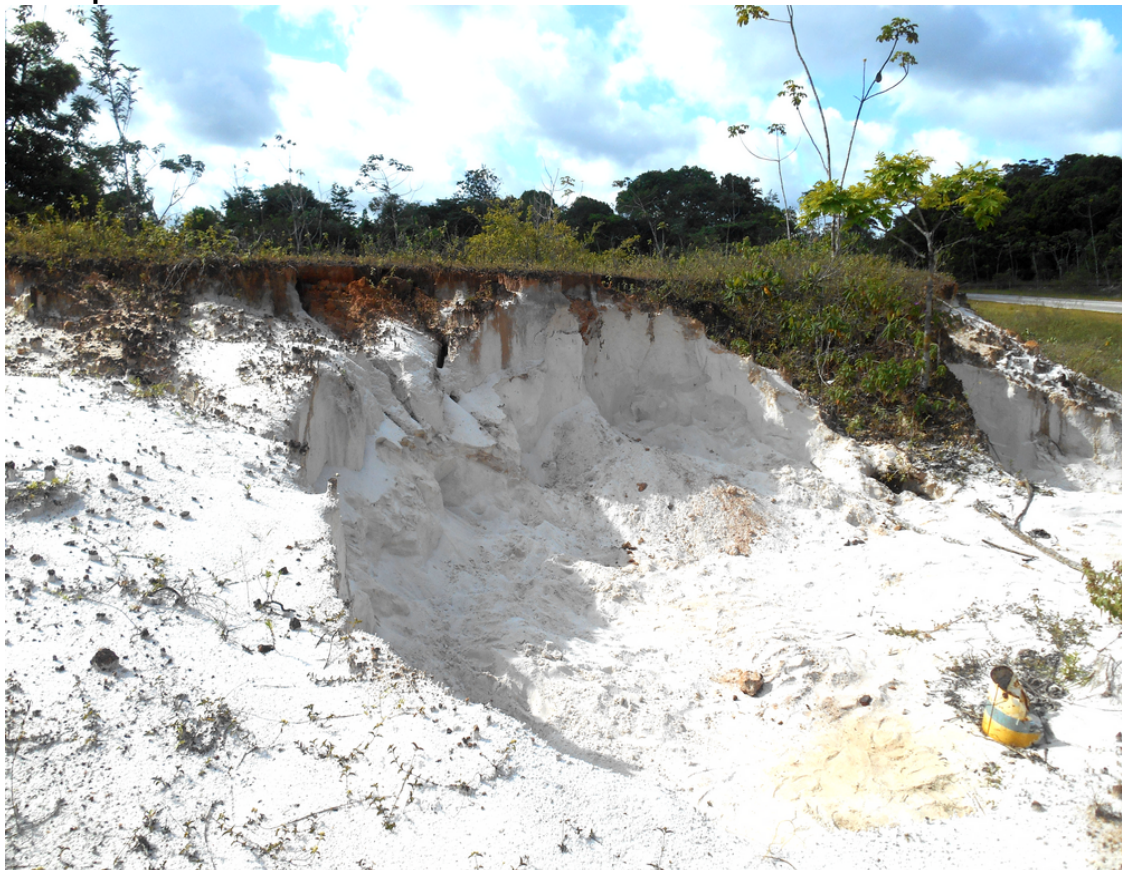


Photo C. Le Guillou

Document 4 : analyse morphoscopique de deux échantillons de sable

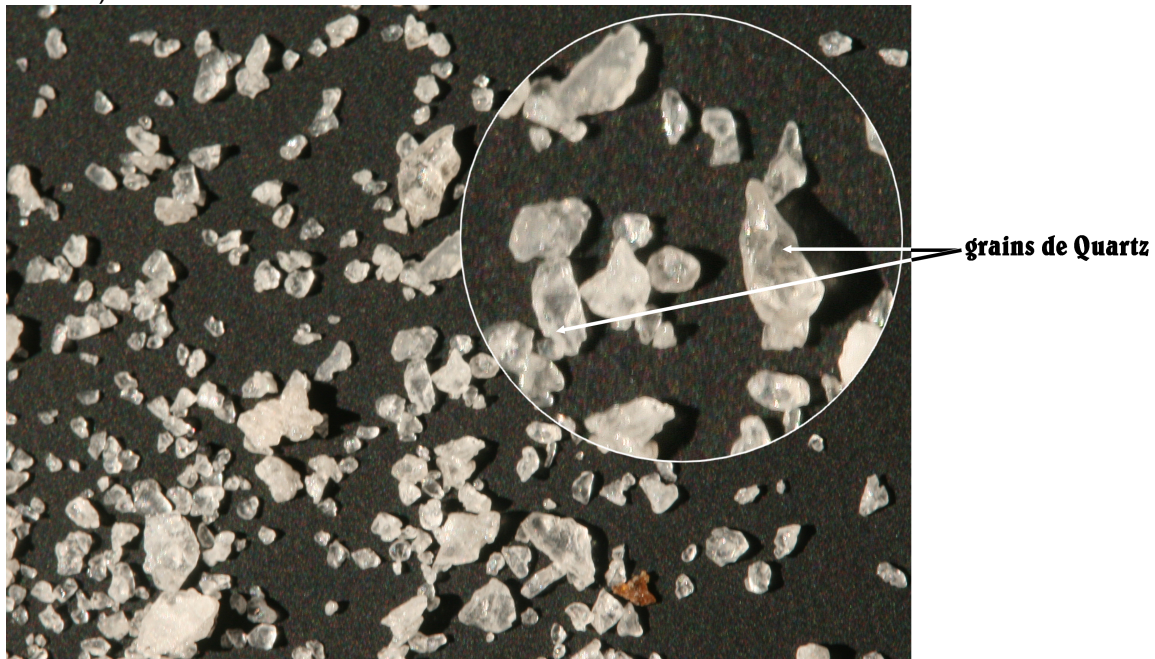
L'analyse morphoscopique est l'examen de la forme et de l'aspect des grains. Elle permet de déterminer s'il y a eu transport et dans ce cas l'agent de transport. Ce type d'analyse repose sur la distinction de trois types de grains :

NU : grains non usés, anguleux, transparents ou colorés : ils n'ont pas subi de transport ou ils n'ont subi qu'un très faible transport ;

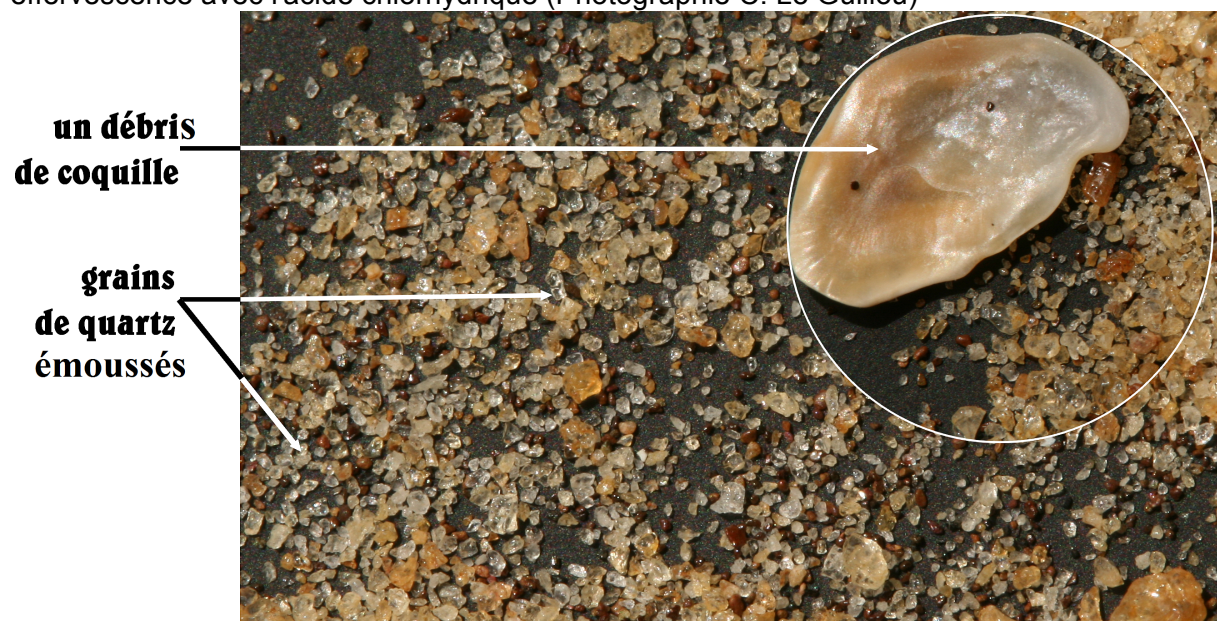
E.L : grains émoussés luisants, à arêtes estompées : ils ont subi un transport par l'eau ;

R.M : grains ronds mats, dépolis et arrondis : ils ont subi un transport par le vent.

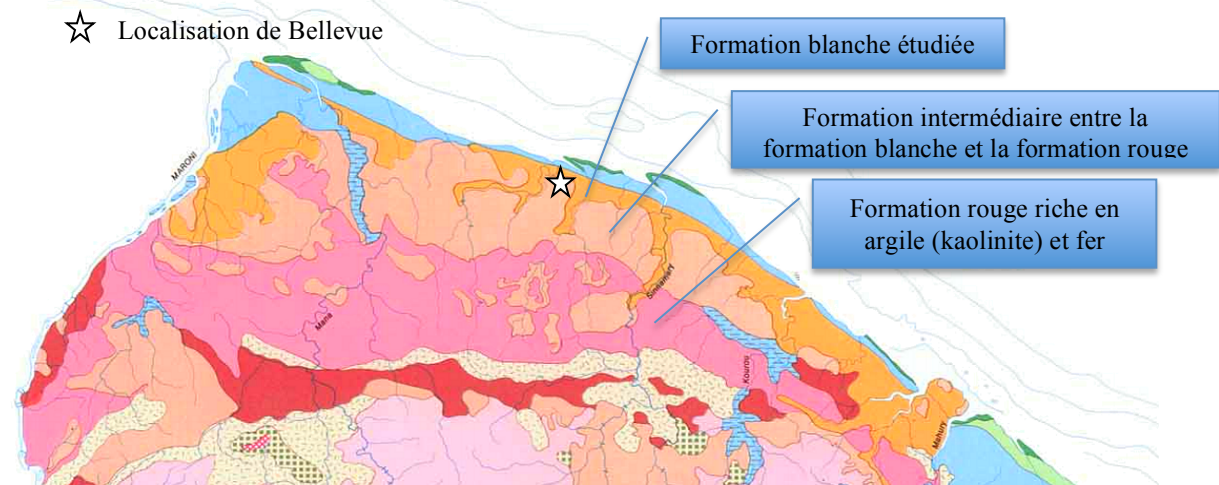
Document 4a : échantillon de la formation blanche considérée (les grains sont de taille millimétrique) ; l'échantillon ne fait pas effervescence avec l'acide chlorhydrique (Ph. C. Le Guillou)



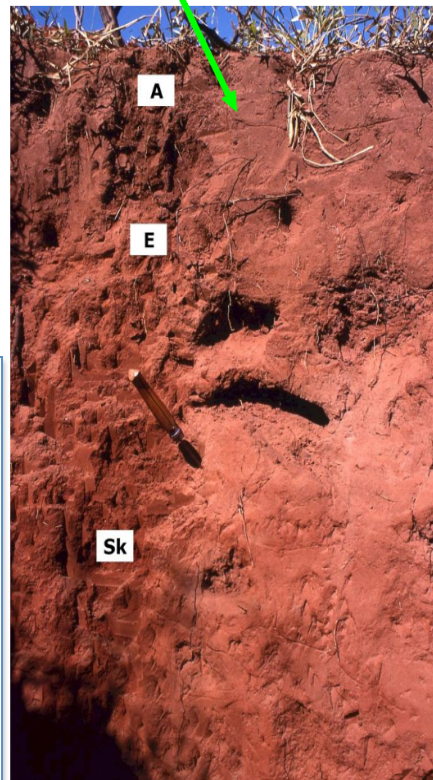
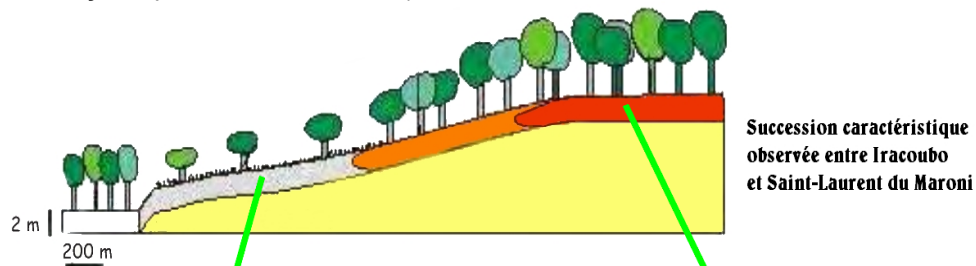
Document 4b : échantillon de sable (les petits grains sont de taille infra-millimétrique) prélevé sur la plage de Rémire-Montjoly (Île de Cayenne) ; il se produit une légère effervescence avec l'acide chlorhydrique (Photographie C. Le Guillou)



Document 5 : extrait de la carte pédologique de Guyane au 1/1 000 000 (d'après Pierre Blancaneaux, publication CNRS, 1979)



Document 6 : relation topographique entre la formation blanchâtre considérée et une formation rougeâtre (sol ferrallitique) caractéristique du paysage guyanais (photographies Alain Ruellan, Association Française pour l'Étude des Sols)



1 (ci-dessus) - Formation blanche étudiée : partie superficielle de la croûte terrestre constituée de sable blanc (grains de quartz)

2 (ci-dessus) et photographie à droite – Formation rouge riche en argile (kaolinite) et fer

A = rouge, légèrement organique

E = rouge clair, légèrement appauvri e argile

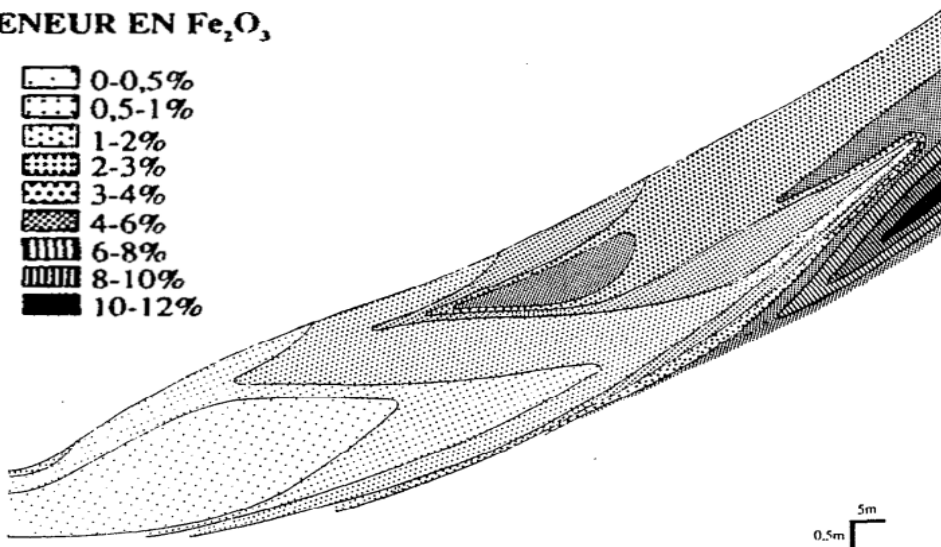
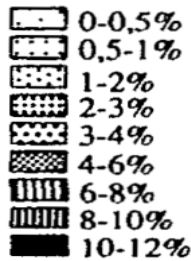
Sk = rouge, argilo sableux, riche en kaolinite

Document 7 : à propos de la formation rouge

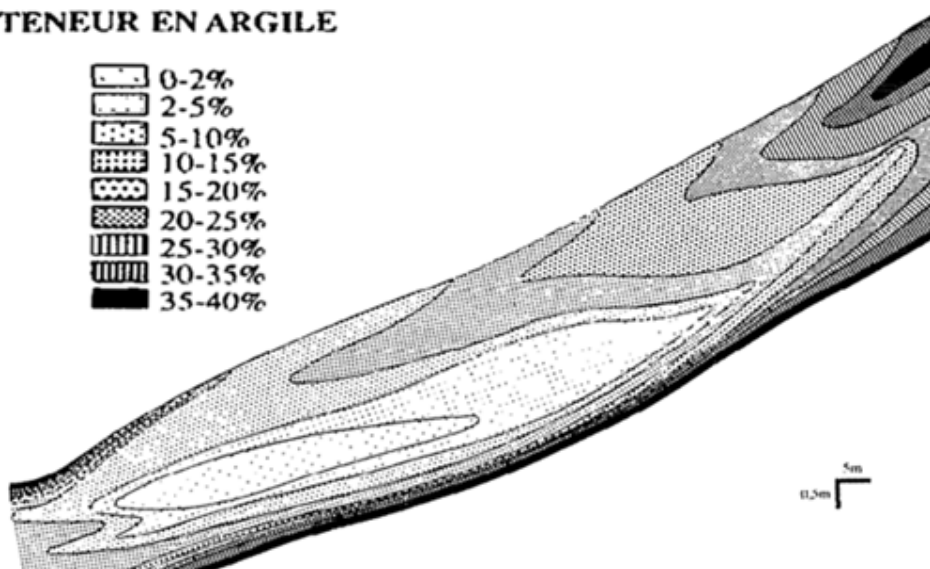
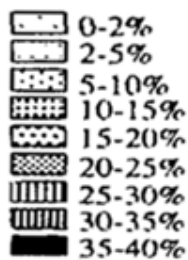
Les formations superficielles rougeâtres, telles que celle présentée dans la photographie de droite du document 6, caractérisent les zones à climat chaud et humide (climat équatorial). Les minéraux des roches du sous-sol (micas, feldspaths) sur lesquelles elles se développent sont hydrolysés. Cette hydrolyse déchausse certains minéraux comme le quartz, pratiquement pas altérable. Les ions libérés par l'hydrolyse sont à l'origine de la formation de minéraux plus particulièrement l'hématite (oxyde de fer), la goéthite (hydroxyde de fer), la gibbsite (hydroxyde d'aluminium) et la kaolinite (argile). Ce type de formations superficielles rougeâtres constitue un sol ferrallitique. La couleur rouge résulte d'un enrichissement en fer par suite du lessivage des autres cations solubles.

Document 8 : représentations graphiques des teneurs en hématite (oxyde de fer) et en kaolinite (argile) le long d'un profil du type de celui du document 6 dans le bassin versant de Booro-Borotou en Côte d'Ivoire. (In le fonctionnement hydrodynamique du bas de versant - Emmanuel Fritsch, Pierre Chevallier et Jean-Louis Janeau, 1987)

TENEUR EN Fe_2O_3



TENEUR EN ARGILE



Exercice 3 - D'intrigants dépôts de sel dans la Vallée de la Mort

La Vallée de la Mort (*Death Valley*) est une zone désertique des USA, à cheval sur les états de Californie et du Nevada. La Vallée forme un bassin étroit, allongé dans le sens nord-sud, dont le fond est situé à une altitude proche de 0 m. Elle est bordée par des reliefs atteignant plus de 3000 m. Le record de température sur Terre y a été enregistré le 10 juillet 1913 à Furnace Creek avec 56,7 °C. Le taux d'humidité de l'air peut chuter à 3% en été et les vents chauds y sont fréquents, ce qui augmente encore la sensation de sécheresse de l'air. Le nom morbide de la région est dû aux premiers colons qui y pénétrèrent en 1849 : un groupe de chercheurs d'or qui ne survécut qu'à grand peine dans la vallée.

En plusieurs points bas de la Vallée de la Mort, on observe des dépôts horizontaux de sels appelés *playas*, qui se sont mis en place de façon relativement récente à l'échelle des temps géologiques. Ces dépôts sont formés essentiellement de chlorure de sodium (NaCl), mais d'autres sels plus rares sont présents et ont été exploités en mines pour les besoins de l'industrie.

Une explication classique à de tels dépôts fait intervenir de l'eau de mer, naturellement riche en ions Na^+ et Cl^- , qui précipitent sous forme de NaCl lors de phases d'évaporation intense dans des bassins isolés. Cependant, ici, cette explication n'est pas valable : l'océan le plus proche est situé à près de 400 km de la Vallée et cette situation n'a pas changé depuis plusieurs millions d'années.

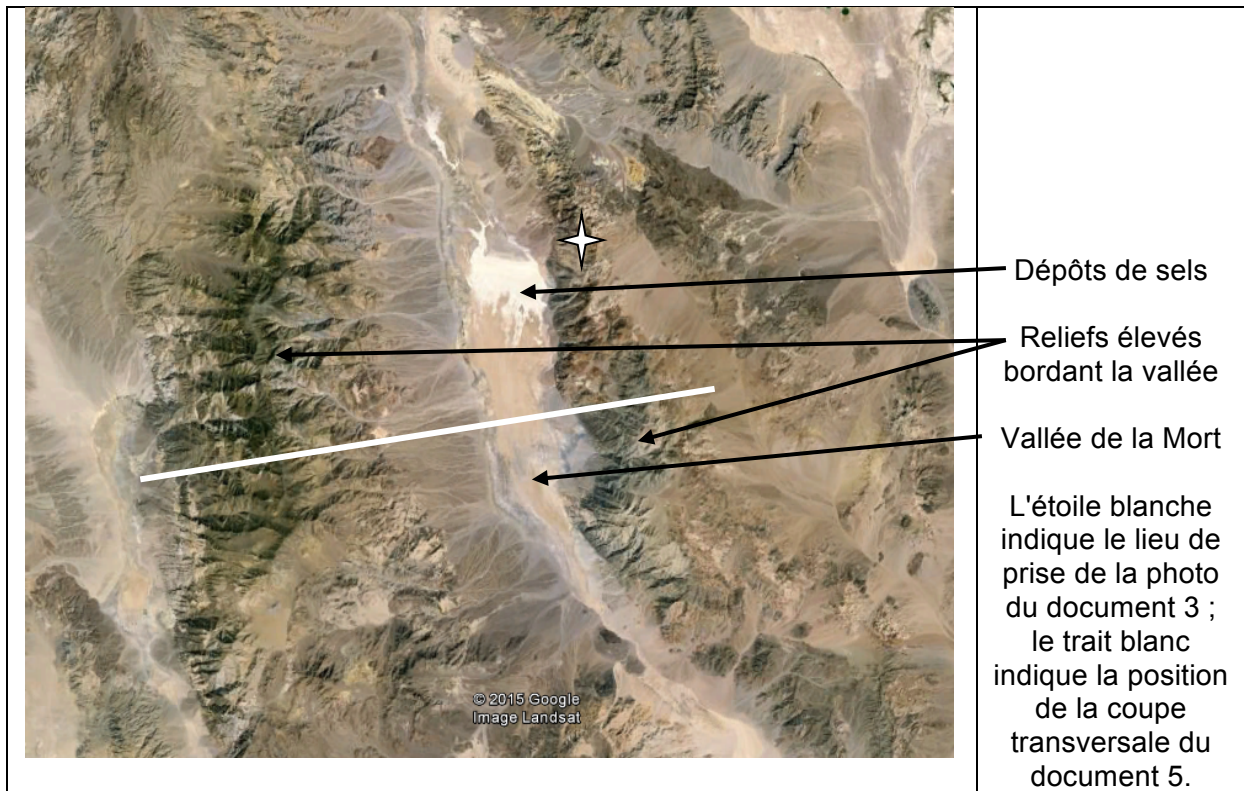
Question : quelle peut être l'origine de ces *playas* ?

Documents

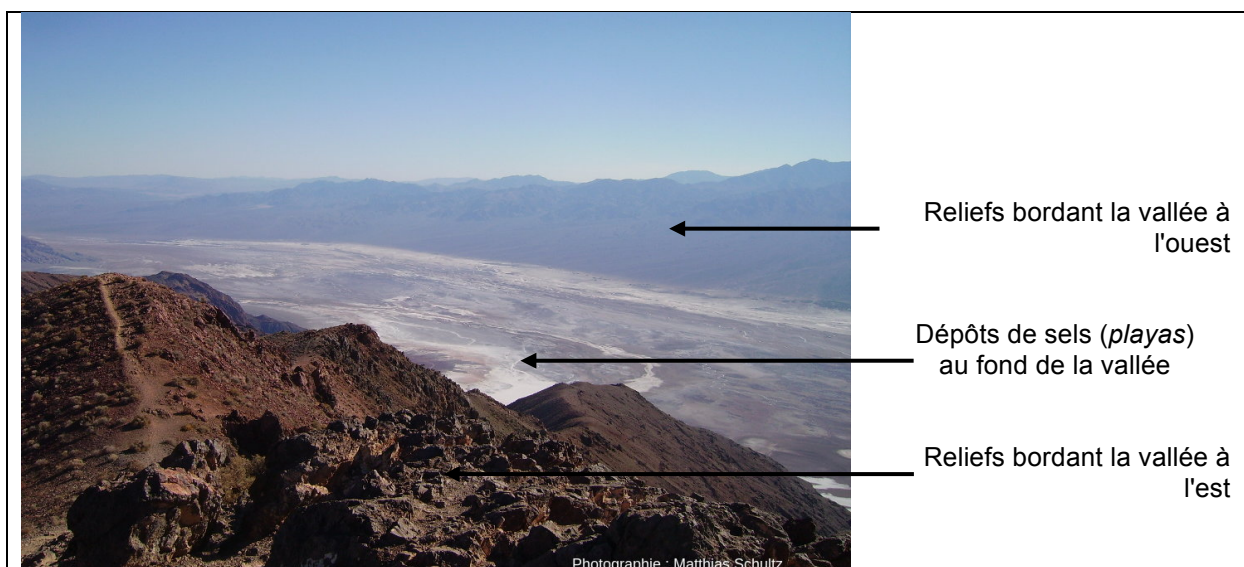
Document 1 : position de la Vallée de la Mort aux USA



Document 2 : photographie satellitale de la Vallée de la Mort (Source : Google Earth, 2015)



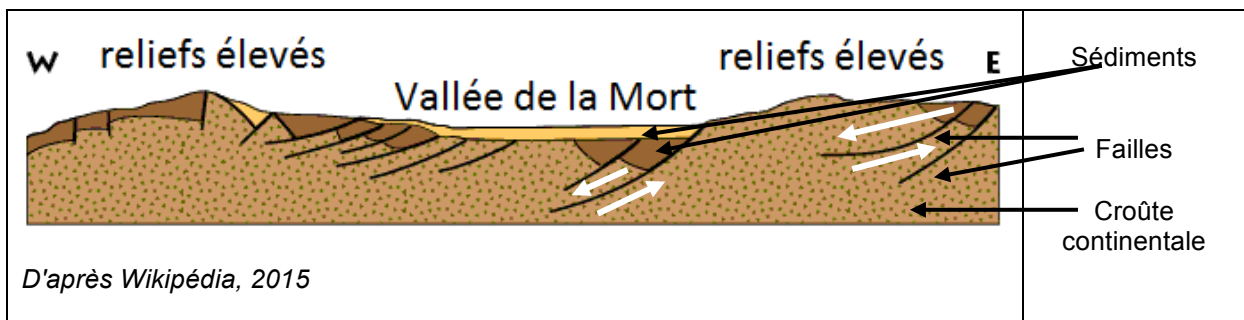
Document 3 : photographie de la Vallée de la Mort prise depuis le relief élevé bordant la vallée à l'est



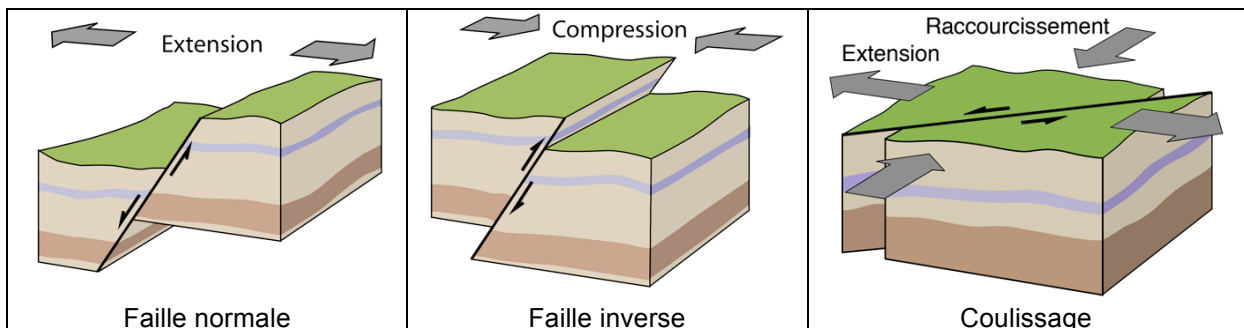
Document 4 : photographie du fond de la Vallée de la Mort montrant des dépôts de sels horizontaux (playas). Les visiteurs donnent l'échelle.



Document 5a : coupe géologique transversale de la Vallée de la Mort (d'ouest en est)
Le jeu de certaines failles est indiqué par les flèches blanches.



Document 5b : les trois types de failles (d'après Wikipédia, 2015)



Document 6 : cycle de l'eau au niveau de la Vallée de la Mort

Il pleut rarement au niveau de la Vallée de la Mort et des reliefs avoisinants : la moyenne des précipitations y est d'environ 5 cm.an^{-1} . Lorsque les pluies se produisent, généralement en hiver, elles forment des cours d'eau temporaires qui débouchent dans la vallée. Le bassin versant de la Vallée de la Mort couvre plus de $23\,000 \text{ km}^2$. Comme la vallée n'a aucun exutoire, toute l'eau tombée sur le bassin versant s'accumule dans les zones les plus basses, formant des lacs temporaires qui s'évaporent peu à peu sous le climat désertique ; la surface de la vallée dans laquelle l'eau peut s'accumuler est de $7\,800 \text{ km}^2$. La moyenne de l'évaporation pourrait atteindre en théorie 3 m.an^{-1} dans la vallée.

En première approximation, l'eau de pluie peut être considérée comme de l'eau pure, c'est-à-dire ne contenant que très peu d'éléments dissous. Il en va de même pour la vapeur d'eau formée par l'évaporation d'un plan d'eau. Pourtant, les cours d'eau temporaires que l'on observe après des précipitations sur le bassin versant de la Vallée de la Mort sont généralement d'une salinité élevée et souvent impropres à la consommation.

Document 7 : composition moyenne des roches de la croûte terrestre

Elément	O	Si	Al	Fe	Ca	Na	Mg	K	Ti	H	P	Mn	Cl	F
Abondance dans la croûte terrestre en %	46,0	27,0	8,2	6,3	5,0	2,3	2,9	1,5	0,7	0,2	0,1	0,1	0,05	0,05

Source : wikipedia, 2015

Questions

1. D'après le document 5, **déterminer en le justifiant**, le contexte tectonique de la mise en place des failles visibles en coupe et **expliquer** l'origine géologique du contraste entre l'altitude du fond de la Vallée de la Mort et celle des reliefs à l'ouest et à l'est.
2. D'après le document 6, **estimer par un calcul simple** le volume d'eau total représenté par les pluies dans tout le bassin versant de la Vallée de la Mort en moyenne pour une année. En déduire la hauteur d'eau totale accumulée par an en moyenne dans la Vallée de la Mort. **Comparer** cette dernière valeur à l'évaporation théorique dans la Vallée de la Mort et **conclure** sur le devenir de l'eau accumulée dans cette vallée.
3. À l'aide des documents 6 et 7, **proposer une explication** à la présence d'éléments dissous, notamment d'ions Na^+ et Cl^- , dans les eaux de ruissellement formées à partir des précipitations. En supposant que le volume d'eau total qui ruisselle chaque année dans la Vallée de la Mort est de 1 km^3 et que cette eau contient des quantités modérées d'ions Na^+ et Cl^- ($[\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-] = 20 \text{ mg.l}^{-1}$), **calculer** la masse totale de ces ions dissous apportée chaque année au fond de la vallée par les eaux de ruissellement.
4. **Expliquer** ce que vont devenir ces éléments dissous lors de l'évaporation des lacs temporaires au fond de la vallée.
5. **Réaliser** un schéma bilan qui résume l'origine des *playas* observés au fond de la Vallée de la Mort.