

SESSION 2010

OLYMPIADES ACADEMIQUES DE GEOSCIENCES

ACADEMIES DE BESANÇON, DIJON, LILLE, NANCY-METZ, REIMS, STRASBOURG

Durée de l'épreuve : 4h.

Le sujet se compose de quatre exercices notés sur dix points chacun.

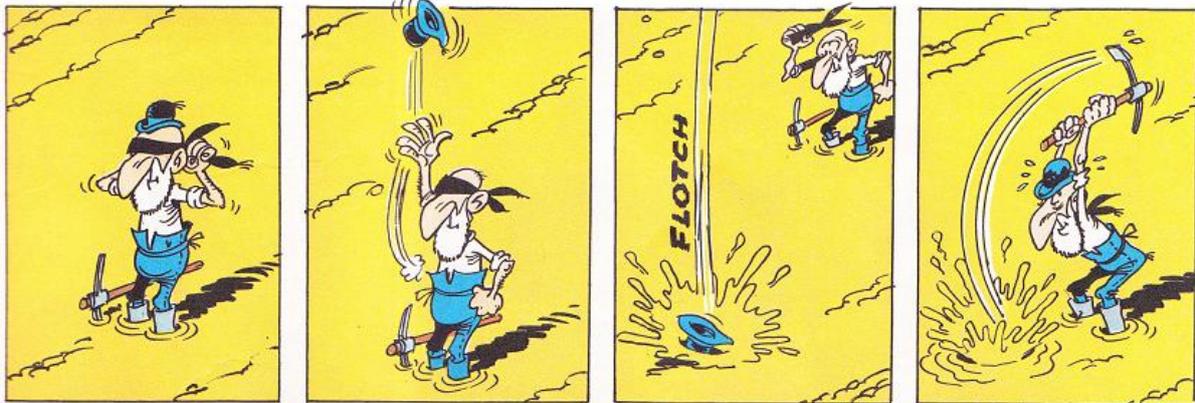
Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

Attention, dans certains exercices, des documents sont à rendre avec votre copie.

La calculatrice est autorisée.

Exercice 1 : à la recherche du pétrole !

Aux débuts de la prospection en Pennsylvanie en 1860, les méthodes étaient "hautement scientifiques".



(A l'ombre des derricks, Morris, éditions Dupuis, 1997)

Depuis, la consommation de pétrole a augmenté et les gisements les plus facilement exploitables se sont taris. Aussi, la prospection nécessite une bonne connaissance des conditions de formation du pétrole et de très hautes technologies.

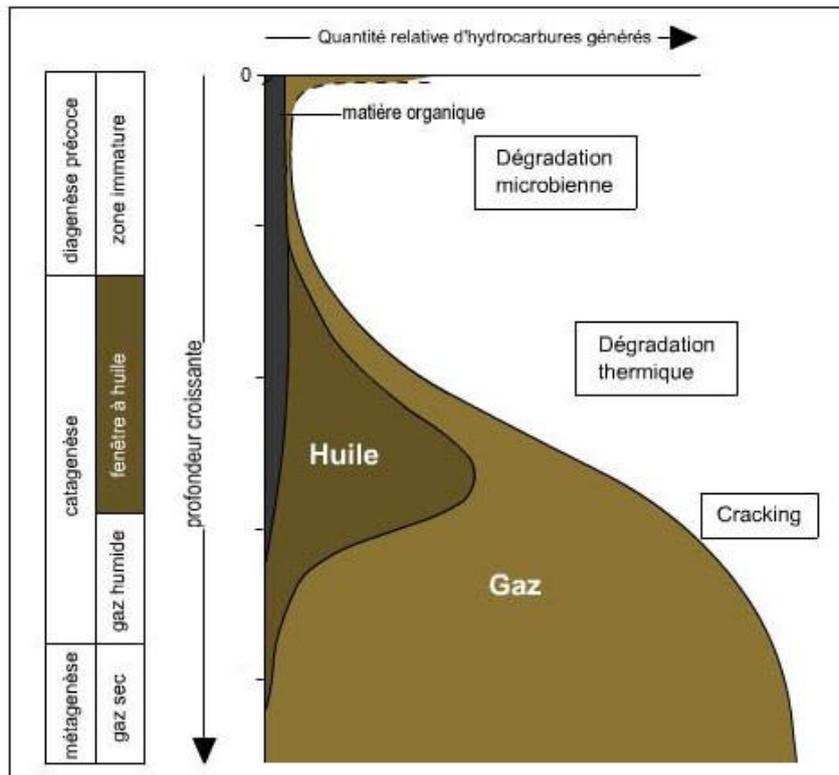
A FORMATION DU PETROLE A PARTIR D'UNE ROCHE MERE PLANCTONIQUE

Le pétrole est un mélange naturel d'hydrocarbures et de quelques autres composés. Il se forme au sein de bassins sédimentaires par transformation de la matière organique principalement d'origine planctonique, incorporée dans les sédiments. Une des conditions essentielles à la formation de pétrole réside dans l'accumulation d'une importante quantité de matière organique qui doit être enfouie rapidement, afin de limiter les dégradations bactériennes en présence d'oxygène.

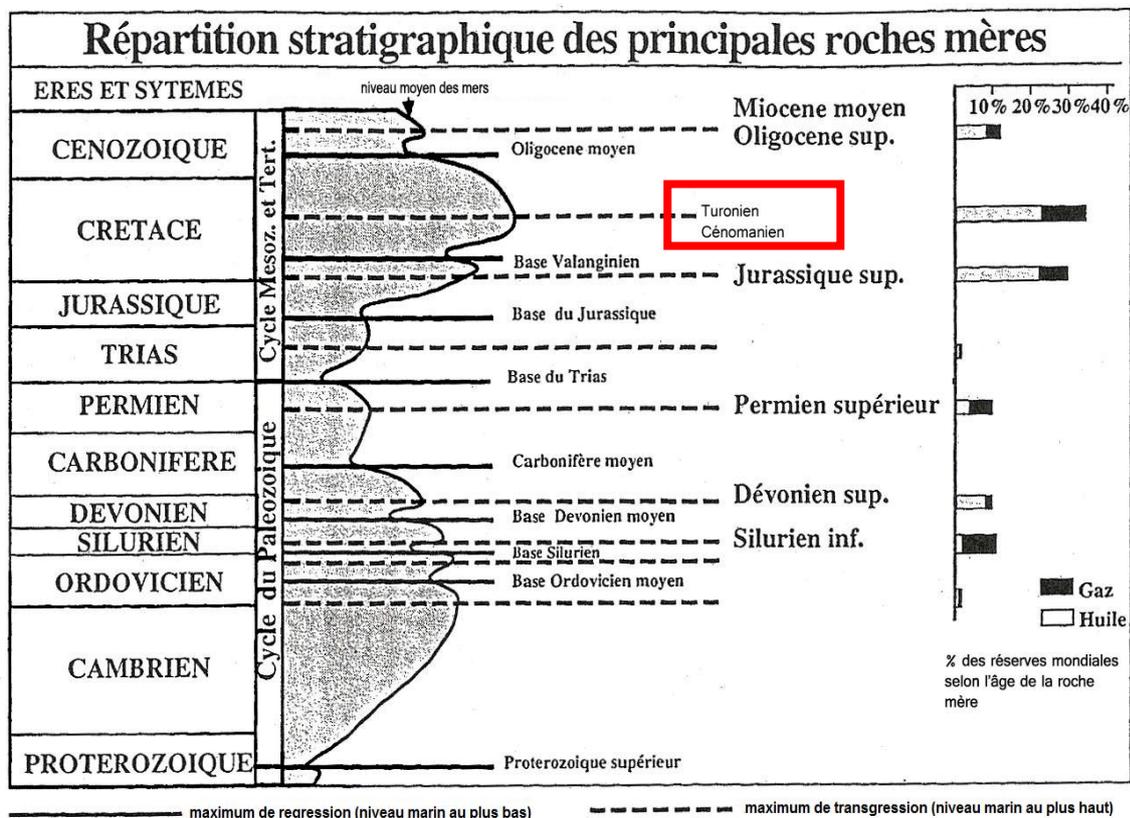
On estime qu'il se dépose en moyenne 50 m de sédiments par million d'années. La température croît au cours de l'enfoncement en moyenne de 3°C tous les 100 m. Cet enfouissement conduit, d'une part à une transformation progressive des sédiments en roches et, d'autre part, à la dégradation thermique des matières organiques en pétrole. La roche dans laquelle se forment les gouttelettes d'hydrocarbures est appelée **roche-mère**.

En langage pétrolier, on appelle "**fenêtre à l'huile**" la fourchette de profondeurs où se forme l'huile, c'est-à-dire le pétrole. Cette huile se forme en moyenne entre 60 et 100°C. Le gaz est produit en grande quantité à partir de 85°C, et au-delà de 130°C, l'huile est détruite.

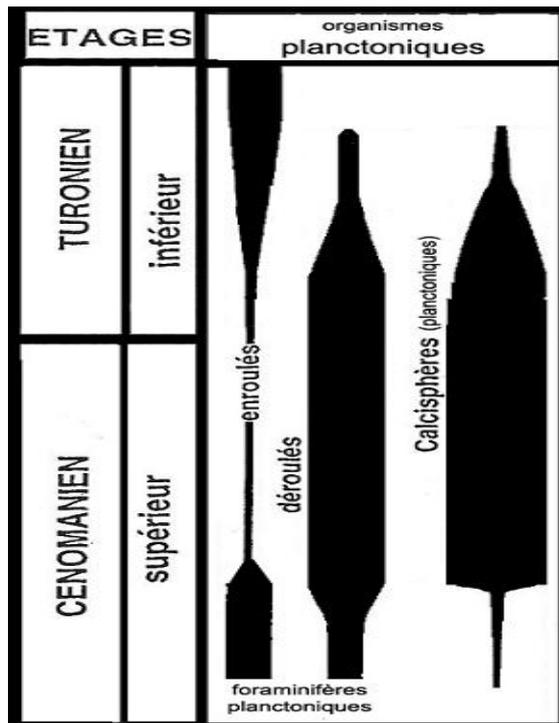
Doc.1a : Les conditions de formation du pétrole



Doc.1b : Quantité d'hydrocarbures en fonction de la profondeur (extrait de *La planète Terre*, Caron et al.)



Doc. 2a : Répartition stratigraphique des principales roches-mères dans le monde et variations du niveau marin. (D'après Ulmichek et Klemme, 1991)

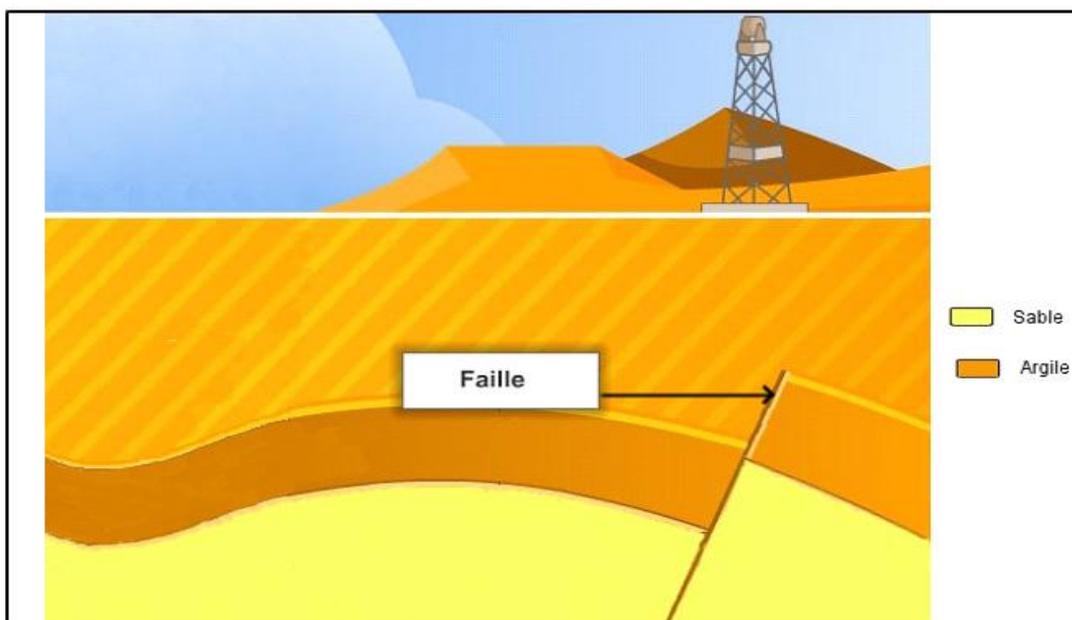


Doc. 2b : Abondance de quelques groupes marins au cours du Cénomanién supérieur et du Turonien inférieur (d'après J. Philip, 1986)

B MIGRATION ET PIEGEAGE DU PETROLE

Les hydrocarbures nouvellement formés dans la roche-mère sont constitués par des molécules de faible densité. Ils commencent une lente ascension vers la surface. Cette migration ne pourra être stoppée que par la rencontre d'une couche imperméable par exemple, une couche argileuse nommée « couverture ». Les hydrocarbures sont alors piégés dans une roche poreuse (sable, grès, ...) sous-jacente appelée roche-réservoir. Certaines structures tectoniques favorisent le piégeage du pétrole.

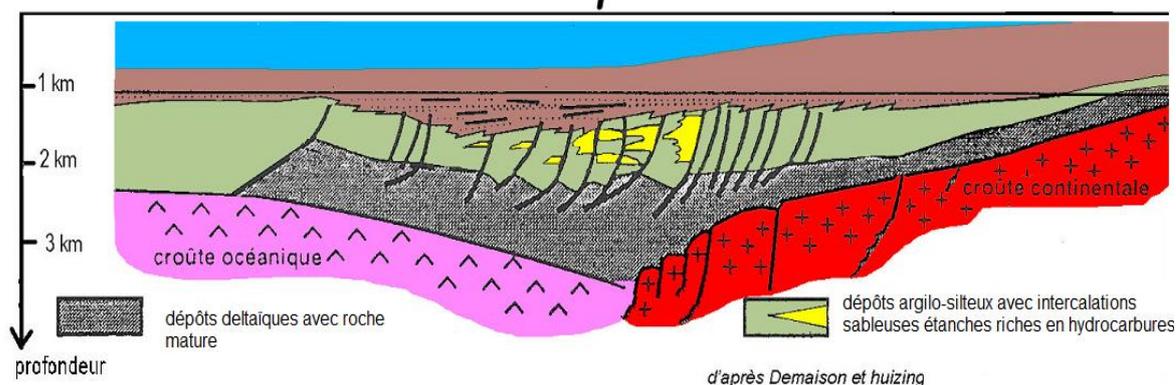
Doc.3a : Devenir du pétrole après sa formation.



Doc.3b : Coupe dans une zone d'exploitation de pétrole (à rendre avec la copie).



coupe AA



Doc. 4 : Champ pétrolier du delta du Niger.

C- PROSPECTION PETROLIERE

Le pétrole est extrait de la roche-réservoir grâce à des forages. Pour implanter les forages, il est nécessaire de connaître précisément la nature des roches du sous-sol. On peut utiliser la technique de la diagraphie qui consiste à faire descendre dans le forage un tube contenant plusieurs appareils de mesures dont le caliper, qui mesure le diamètre et la forme du puits, ainsi qu'un appareil mesurant la polarisation spontanée.

Le diamètre du trou est celui de l'outil de forage	Le diamètre du trou est plus large que celui de l'outil de forage	Le diamètre du trou est plus faible que celui de l'outil de forage
Roche dure	Présence de « trou cavé » : parois éboulées ou dissoutes par la circulation de la boue du forage	Présence de « mud cake » : gâteau de boue : la roche est poreuse, la partie liquide du fluide de forage a envahi la roche, tandis que la partie solide (argile) se colle sur la paroi du trou.
Calcaire massif, calcaire argileux	Argiles récentes, non consolidées	Sable, grès poreux

Doc.5a : Mesures fournies par le caliper

Une des premières diagraphies est le log de polarisation spontanée (appelée log P.S.) qui enregistre des différences de potentiel électrique dues à des causes naturelles. Ces différences sont mesurées entre une électrode de référence fixe, placée en surface, et une électrode mobile qui parcourt toute la longueur du forage.

Le log P.S. permet :

- de mettre en évidence les strates poreuses et perméables,
- de localiser certains niveaux imperméables,
- de calculer le pourcentage d'argile contenu dans la roche réservoir.

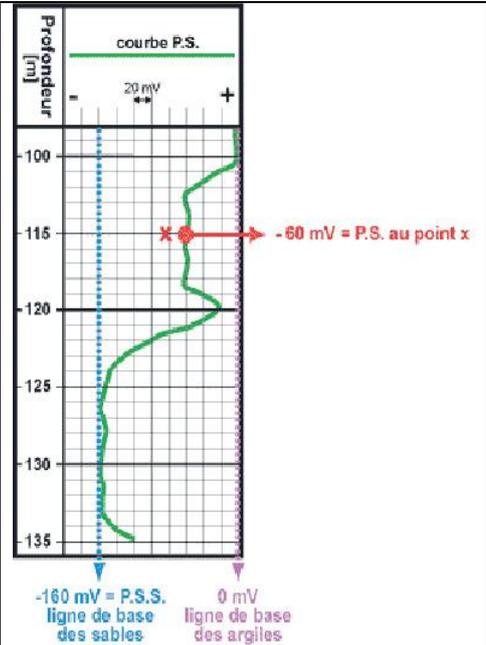
Détermination de la concentration en argile d'une couche :

$$V_{sh} = \frac{PSS - PS \text{ au point } x}{PSS} \times 100$$

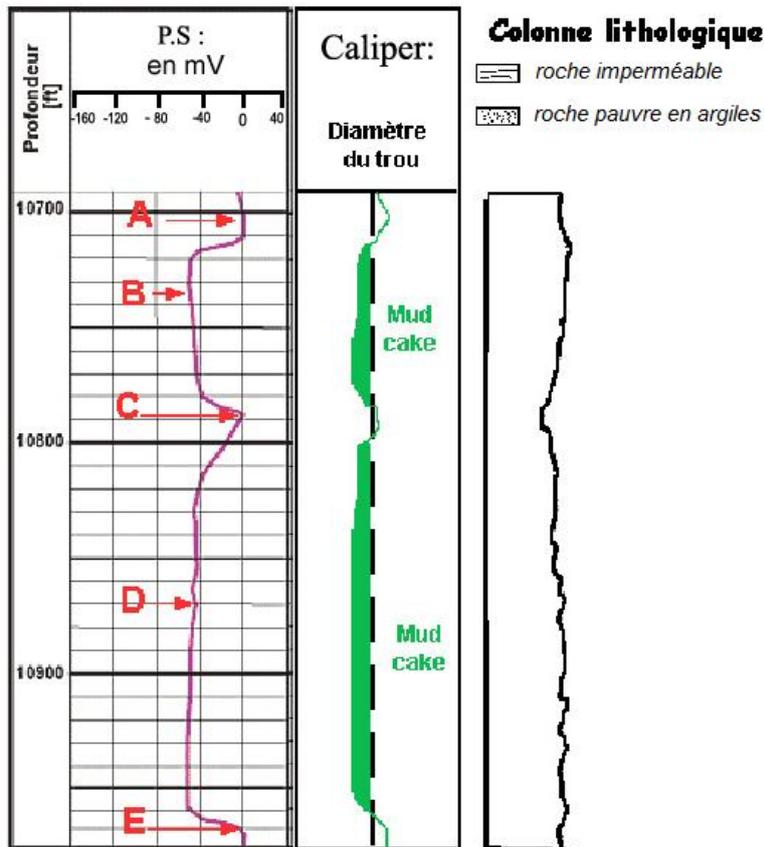
Vsh = volume d'argile [en %]

PSS = valeur maximum de la déflexion PS dans l'intervalle considéré, valeur correspondant à la ligne de base des sables [en mV]

PS au point x = valeur de la déflexion PS à la profondeur choisie [en mV]



Doc.5b : Mesure de polarisation spontanée

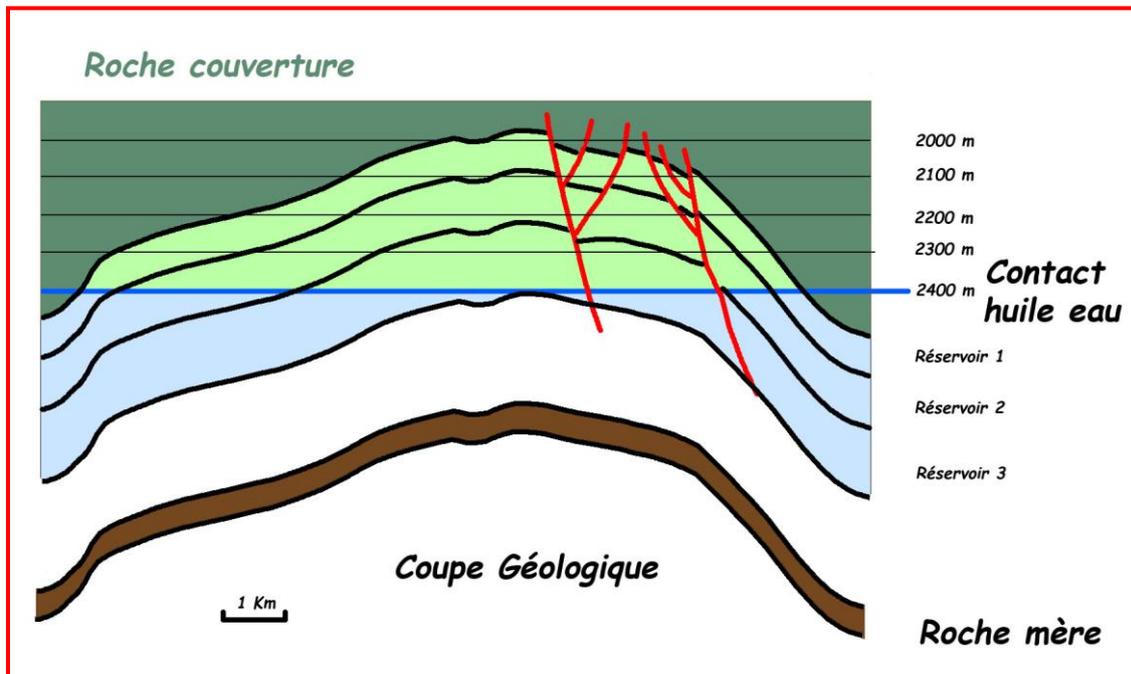


Doc 5c : Etude d'un sous-sol par diagraphie (log P.S. et caliper) et colonne lithologique associée à ce forage.

D- L'EXPLOITATION

On cherche à évaluer combien peut rapporter l'exploitation d'un champ pétrolier. Le pétrole est vendu en barils (un baril = 0,159 m³) dont le prix moyen est actuellement de 70 dollars.

Un champ pétrolier est situé dans un anticlinal de 11 km de long par 5 km de large et comprend au dessus d'une roche mère de 25m d'épaisseur, trois niveaux de réservoirs ayant des propriétés physiques différentes



Doc. 6a : Coupe géologique du champ pétrolier étudié

Les géologues ont calculé le volume de roche poreuse imprégnée dans chacun des ces réservoirs.

- L'étude des carottes d'un puits d'exploration a permis d'estimer la porosité de la roche : volume de vide entre les grains de la roche.
- Des mesures physiques ont permis de connaître la saturation en huile et le coefficient de dégazage : l'huile étant toujours associée avec de l'eau, la saturation en huile représente le pourcentage d'huile dans le fluide contenu dans le réservoir.
- Des calculs ont permis d'évaluer le phénomène de 'Shrinkage' : lors de la remontée vers la surface du fait de la diminution de pression, les gaz dissous dans le pétrole s'échappent (comme lorsque l'on ouvre une bouteille d'eau gazeuse ce qui produit une diminution du volume d'huile (l'estimation de 90 % signifie qu'il y a une perte de volume de 10 %).

	Volume de roche m ³	Porosité (%)	Saturation en huile (%)	Shrinkage (%)
Réservoir 1	100 000 000	15	95	90
Réservoir 2	85 000 000	20	90	85
Réservoir 3	60 000 000	18	80	80

Enfin, le coefficient de récupération du pétrole lors de l'exploitation est de 50 % dans le réservoir 1, 60% dans le réservoir 2 et 40 % dans le réservoir 3. La densité du pétrole est de 0,8.

Doc 6b : Caractéristiques des réservoirs de ce champ pétrolier

Questions :

1) Document 1

Calculer les profondeurs de la fenêtre à huile.

Déterminer la durée moyenne nécessaire à l'enfouissement de matière organique à 3 000 m de profondeur.

2) Documents 1a et 2

Préciser les conditions les plus favorables à la formation des roches-mères. Argumenter votre réponse.

3) Document

Colorer sur le document 3b qui sera rendu avec la copie, les zones où le pétrole peut se trouver piégé.

4) Document 4

Identifier des caractéristiques géologiques à l'origine du fort potentiel pétrolier du plateau continental du Niger.

5) Document 5

Exploiter les résultats des deux méthodes de prospection, afin de déterminer les caractéristiques des couches concernées par le forage aux points A, B, C, D, E.

Compléter la colonne lithologique en utilisant les figurés fournis et en indiquant les roches susceptibles d'être des roches réservoirs. Ce document sera rendu avec la copie.

6) Document 6

Calculer le tonnage de pétrole récupérable dans ce champ pétrolier et son équivalent en dollars.

EXERCICE 2 : LE GYPSE, UN MINERAL ACTEUR DE L'ENVIRONNEMENT

Des villes bâties sur du vide

Les Gaulois craignaient que le ciel ne leur tombe sur la tête. Mais, pour plusieurs millions de Français vivant dans le Bassin Parisien, le danger vient d'ailleurs. Il est bien réel et ils ne le savent pas. Le sol risque à tout moment de s'ouvrir sous leurs pieds.

C'est le TGV-Nord qui déraile après l'effondrement d'une galerie souterraine, trois pavillons qui se lézardent et sont évacués à Bourgtheroulde (Eure), une chaussée qui s'ouvre au Mesnil-Aubry (Val-d'Oise) ou un chemin départemental qui manque de disparaître dans un trou à Thorigny-sur-Marne (Seine-et-Marne). Parfois, les conséquences sont plus dramatiques. Le 1er juin 1964, à Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine), une vingtaine d'immeubles construits sur d'anciennes carrières souterraines de calcaire s'affaissent, faisant 21 morts, 50 blessés et plus de 200 sinistrés. Le 11 mars 1991, vers 22 heures, un cratère de 30 mètres de diamètre s'ouvre sur la commune de Chanteloup-les-Vignes, dans les Yvelines, et ensevelit deux caravanes. Bilan : un disparu.

En France, 5 000 communes au moins sont menacées d'effondrement. Un casse-tête pour les maires et une angoisse pour les habitants.

D'après L'Express - Des villes bâties sur du vide - Benhamou Guy, le 24/02/2000



Le 16/12/08 – Le Raincy (Seine-Saint-Denis)

<http://www.raincy-nono.com/article-25862411-6.html>



Un fontis à Gagny en 1974 (Seine-Saint-Denis)

*Découverte géologique de Paris et de l'Île-de-France,
C. Pomerol - Ed. BRGM 1988*

On cherche à comprendre l'origine géologique des effondrements observés dans le Bassin Parisien.

Document 1 - Le gypse, une évaporite

Document 1a - Conditions et chronologie de formation

Le gypse est un minéral composé de sulfate hydraté de calcium de formule : $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$. C'est aussi le nom que l'on donne à la roche sédimentaire évaporitique correspondante. Les roches évaporitiques (les évaporites) se forment, en milieu littoral, au niveau de lagunes d'eau de mer coupées de la mer. L'eau salée se retrouve piégée temporairement et va alors s'évaporer rapidement. L'eau de mer contient différents ions, dont les éléments Na et Cl qui représentent à eux seuls plus de 85 % de la masse totale (voir tableau). Ces ions forment des minéraux qui précipitent au cours de l'évaporation.

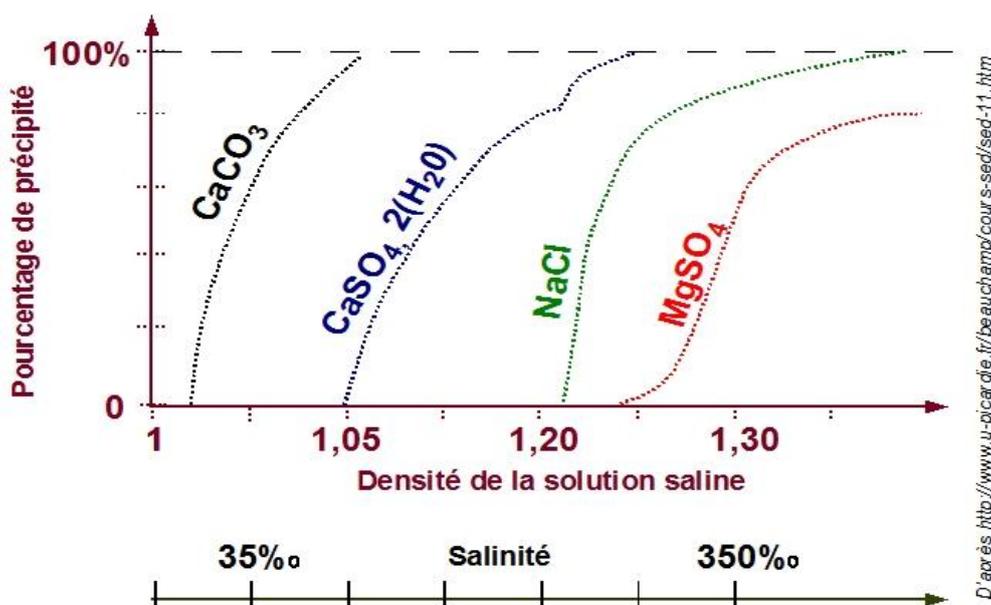
Principaux ions de l'eau de mer			Minéraux déposés par évaporation	
Ions	Charge	Teneur en g.L^{-1}	Nom commun	Formule
Chlorure	Cl^-	19,5	Sel commun	NaCl
Sodium	Na^+	11	Sel commun	NaCl
Sulfate	SO_4^{2-}	2,7	Gypse	$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$
Magnésium	Mg^{2+}	1,3	Sel d'Epsom	MgSO_4
Calcium	Ca^{2+}	0,45	Gypse et Calcite	$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ et CaCO_3

D'après <http://pagesperso-orange.fr/SVT.ocean-indien/>

Document 1b - Séquence évaporitique

Lors de l'évaporation, le volume de l'eau piégée diminue et les ions forment des minéraux qui précipitent selon un ordre précis qui dépend de la concentration de la solution. Le dernier précipite quand 98% de la solution se sont évaporés. Les minéraux déposés constituent une séquence évaporitique qui traduit l'ordre de formation des différents précipités.

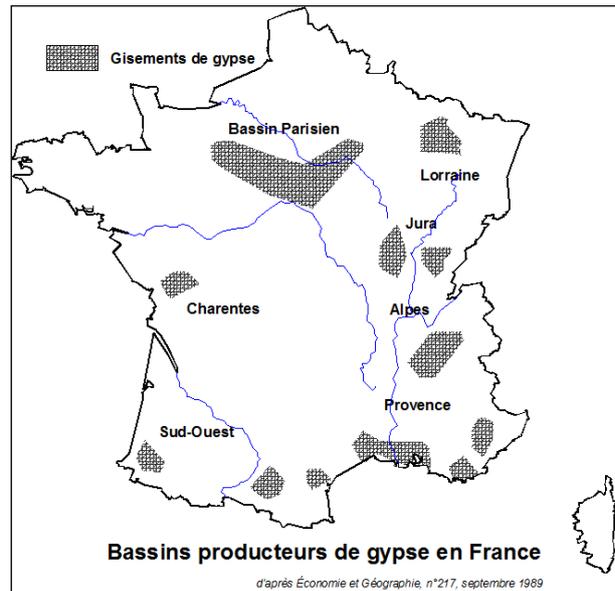
Le graphique ci-dessous représente la quantité de matériaux précipités dans une solution saline en cours d'évaporation en fonction de sa densité, reflet de sa concentration.



Document 2 - Le gypse de l'Île-de-France

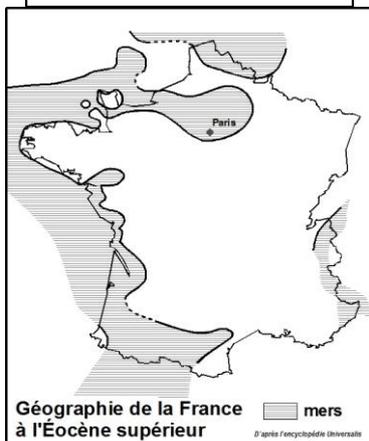
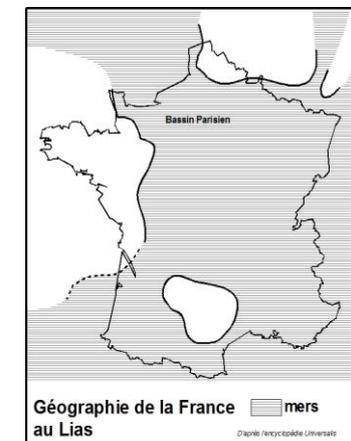
Document 2a - Les gisements français

La France détient d'importantes réserves de gypse dont 70 % se trouvent dans le Bassin Parisien (ce qui représente 3 400 hectares exploitables). Le gisement est constitué de 3 ou 4 couches successives de gypse séparées par des marnes (argiles calcaires), qui ont protégé le gypse de la dissolution. La couche la plus proche de la surface est la plus épaisse (jusqu'à 21 m), la deuxième couche étant plus mince (environ 7 m). Ces 2 couches sont les seules actuellement exploitées. L'érosion intense du quaternaire n'a laissé subsister que des buttes dans lesquelles sont effectuées les exploitations actuelles. Les réserves exploitables de gypse du Bassin Parisien qui étaient estimées, il y a 25 ans pouvoir durer 100 ans, ne sont plus actuellement que de 30 à 40 ans du fait de l'urbanisation et de la réglementation.



Sources diverses : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Gypse>, <http://ruedeslumieres.morkitu.org>, ...

Document 2b - Géographie de la France au cours des temps géologiques



Échelle des temps géologiques
(en millions d'années)

	Quaternaire	
- 1,8 Ma	Cénozoïque	Néogène
		Pliocène
	Paléogène	Miocène
		Oligocène
		Éocène
- 65 Ma	Mésozoïque	Paléocène
		Supérieur
	Crétacé	Inférieur
		Malm
		Dogger
Jurassique	Lias	

Document 3 - Le plâtre : du gypse au gypse !

Au XIX^{ème} siècle, le gypse est largement exploité dans le nord du Bassin Parisien. C'est à partir de cette époque que de nombreuses carrières souterraines et à ciel ouvert apparaissent. Le « plâtre de Paris », utilisé en construction, acquiert alors sa renommée mondiale. Lors d'un procédé industriel de fabrication, le gypse est transformé en hémihydrate (ou bassanite) et en anhydrite. Le mélange de ces deux éléments constitue alors, après broyage, le plâtre. Lorsqu'il est additionné d'eau, ce mélange fait prise en cristallisant sous forme de fines baguettes enchevêtrées de gypse... En fait, la fabrication du plâtre n'est autre qu'une transformation du gypse pour redonner du gypse.

Composition d'un plâtre pour enduits		
Hémi-hydrate	CaSO ₄ , 1/2(H ₂ O)	72%
Anhydrite	CaSO ₄	18%
Calcite	CaCO ₃	7%
Argile et silice		2%
Magnésite	MgCO ₃	1%
Adjuvants		<1%

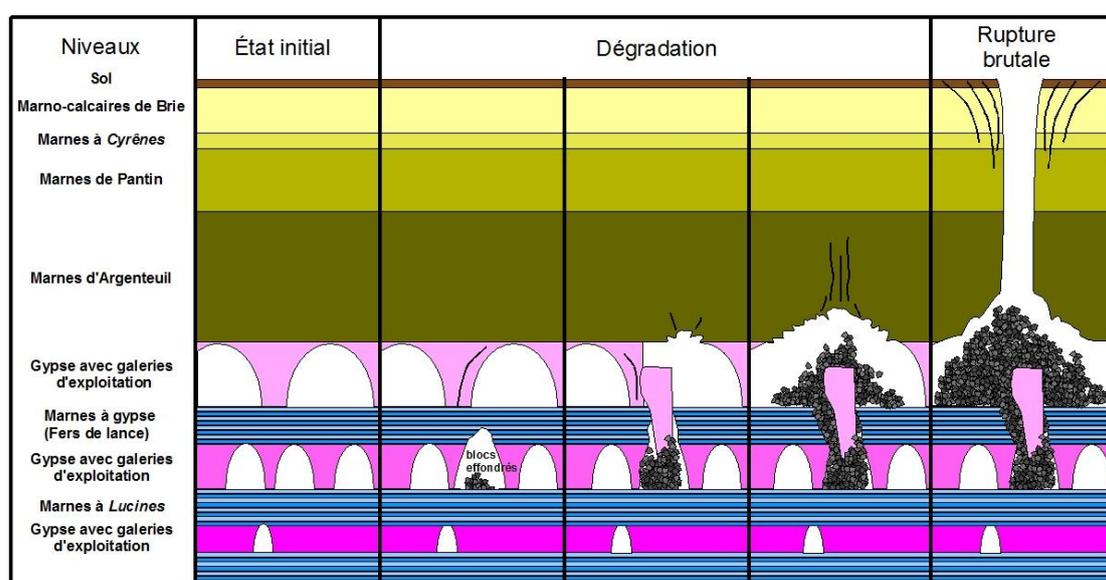
D'après : Les évaporites : matériaux singuliers, milieux extrêmes JM Rouchy et MM Blanc-Valleron

*D'après
Le bulletin de l'union des physiciens
vol. 91 – Janvier 1997*

Document 4 – Formation de fontis

Un fontis correspond à un effondrement du sol en surface provoqué par la dégradation progressive des terrains sous-jacents à partir d'une cavité souterraine naturelle ou créée par l'Homme. Le gypse est une roche qui est propice à la formation des fontis. Les cavités sont à l'origine de l'instabilité des terrains situés au-dessus du gypse. Ces effondrements peuvent être provoqués par la rupture brutale de cavités d'anciennes carrières abandonnées. En surface, la stabilité des ouvrages est alors compromise, qu'il s'agisse de constructions en milieu urbain, d'aménagements routiers ou ferroviaires.

Schématisation des étapes de formation d'un fontis (exemple du sous-sol du Bassin Parisien)



D'après <http://www.seine-saint-denis.pref.gouv.fr/>

Questions à partir des informations apportées par, :

1. le document 1a :

- retrouver la succession des événements amenant à la formation d'une évaporite ;
- compléter le document annexe 1 (page 14) afin de schématiser la formation d'une évaporite

2. le tableau du document 1a et le graphique du document 1b :

- représenter, dans la colonne du document annexe 2 (en dernière page de l'exercice), une séquence évaporitique complète en respectant l'ordre des dépôts et en estimant leur épaisseur relative ;
- argumenter la réponse.

3. l'ensemble du document 2 : reconstituer les conditions de formation du gypse exploité dans le Bassin Parisien et proposer une époque compatible avec ce dépôt.

4. le document 3 : proposer un procédé simple permettant d'obtenir de la poudre de plâtre à partir du gypse.

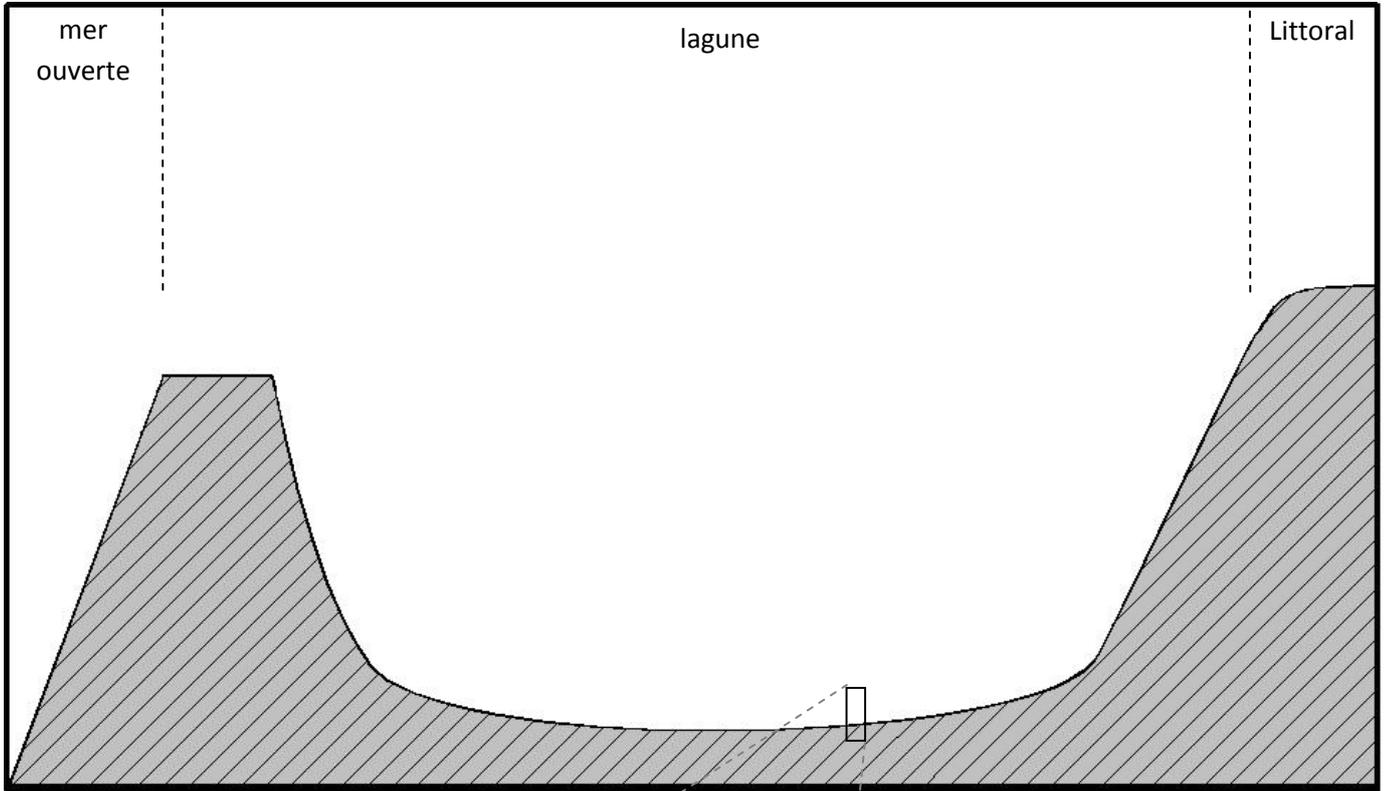
5. le document 4 : donner les raisons géologiques expliquant que le Bassin Parisien connaît de nombreux effondrements de terrains. Proposer une solution envisageable pour prévenir ces risques.

>> Documents annexes à compléter et à rendre avec la copie <<

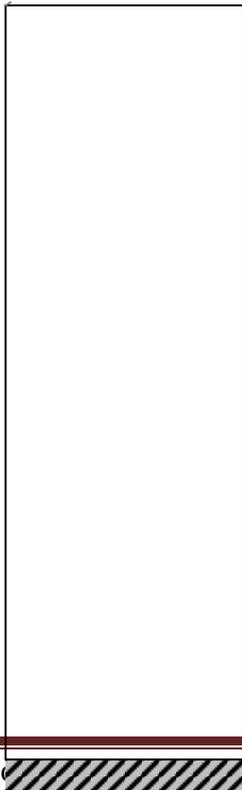
NOM :

Prénom :

Document annexe 1



Document annexe 2



Exercice 3 Des plages plus ou moins chaudes

La Réunion est une île de l'Océan Indien située en zone intertropicale. Les reliefs escarpés et l'influence des alizés sont responsables d'un climat contrasté, avec de fortes précipitations sur la côte orientale, exposée aux vents, et des précipitations rares sur la côte occidentale, sous le vent. De ce fait, cette dernière bénéficie très souvent d'un temps ensoleillé qui permet de profiter pleinement des plages du littoral.

Néanmoins, certaines plages de la côte occidentale présentent des désagréments comme on peut le constater dans le bulletin d'information suivant :

Information du mercredi 16 décembre 2009

« Les plaisirs de la plage sont aussi associés à plusieurs dangers, le sable chaud en fait partie car certains plagistes sont littéralement brûlés au niveau des pieds après avoir essayé de traverser la plage en plein soleil. Ce week-end, une femme a été évacuée par les sapeurs pompiers après s'être brûlée les pieds sur la plage de l'Étang Salé [...].

Les sauveteurs tiennent à rappeler les dangers du sable chaud [...]. Dès 9h00 du matin, le sable noir est déjà particulièrement chaud et présente un risque. Depuis le début de l'été¹, les sapeurs pompiers sont intervenus une dizaine de fois pour des cas de brûlures. »

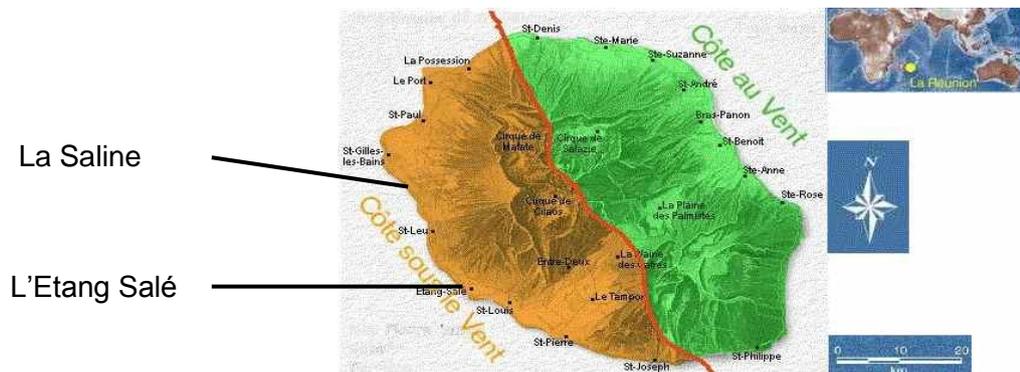
¹ : il s'agit de l'été austral

D'après « AntenneRéunion.fr »

Ce phénomène de sable brûlant, très fréquent sur la plage de l'Étang Salé, ne s'observe que très peu sur la plage de La Saline, à quelques kilomètres de là.

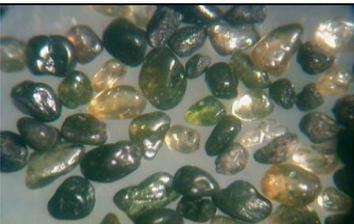
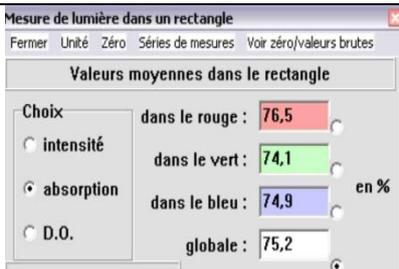
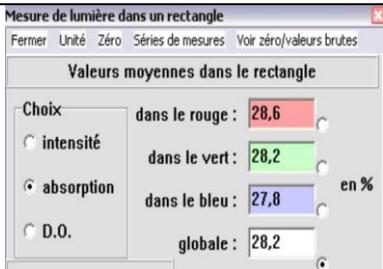
On cherche à comprendre cette différence.

Document 1 : Localisation des deux sites



D'après Conseil Régional de La Réunion et wikipedia.org

Document 2 : Observations et tests réalisés sur des échantillons de sable récoltés sur les deux plages

	L'Etang Salé	La Saline
Observation macroscopique :		
Observation à la loupe binoculaire :	 <u>1 mm</u>	 <u>1 mm</u>
Test à l'acide chlorhydrique (recherche de la présence de carbonates)	Pas d'effervescence	Forte effervescence
Absorption sous lumière solaire (à partir des échantillons macroscopiques ci-dessus, avec le logiciel Mesurim_Pro)		

Document 3 : Devenir de la lumière incidente sur une surface

Lorsqu'une surface est éclairée, une partie de l'énergie lumineuse est réfléchiée, le reste étant absorbé par la surface.

Lors du phénomène d'absorption, les photons qui composent la lumière agissent sur les atomes composant la matière en élevant leur niveau énergétique. Ces atomes peuvent retourner à leur état initial en émettant de la chaleur sous forme de rayonnement infrarouge.

Document 4 : Contexte géologique de l'île de La Réunion

La Réunion est une île récente (moins de 3 millions d'années) issue d'un magmatisme de point chaud. Elle possède encore un volcan actif, le Piton de la Fournaise, dont la fréquence éruptive est l'une des plus élevées au monde.

À l'exception de quelques récifs coralliens actuels ou fossiles, La Réunion est donc une île entièrement formée de roches volcaniques. Ces roches volcaniques sont assez variées, mais la plus abondante d'entre elles est un basalte très riche en olivines appelé **océanite**.

L'océanite est constituée d'une pâte sombre de microlithes (essentiellement feldspaths et pyroxènes) et de verre (minéraux non cristallisés) entourant des phénocristaux translucides verts à jaunes d'olivines. Plagioclases, pyroxènes et olivines sont des minéraux silicatés.

D'après BRGM « Connaissance géologique de La Réunion » - modifié

Document 5 : Observations d'océanite prélevée sur la coulée d'avril 2007 du Piton de la Fournaise

vue d'ensemble
(sous éclairage modéré)



détail
(sous éclairage intense)



Document 6 : Le récif réunionnais

« L'île de La Réunion est bordée sur sa côte occidentale et sud par un modeste récif frangeant. Il est plat ; sa largeur n'excède jamais 200 mètres et la profondeur du lagon ne dépasse pas deux mètres. De la haute mer vers la côte, on relève tout d'abord un front récifal qui résulte de l'écroulement du platier¹ vivant battu par les vagues. Lui succède un platier compact. Celui-ci est colonisé par des mélobésiées² concrétionnaires, des hydrocoralliaires³ et des madréporaires³. La partie arrière du récif comprend des platiers d'organismes nécrosés⁴.

Les datations du récif montrent qu'il s'est édifié au cours du Pléistocène et plus précisément depuis 8 500 ans, à une vitesse moyenne de croissance verticale de 0,4 cm.an⁻¹. »

¹ : haut-fond sous-marin à surface plane

² : algues rouges marines dont le thalle s'incruste de calcaire

³ : organismes marins récifaux à squelette calcaire du groupe des Cnidaires

⁴ : en état de décomposition

Extrait de BRGM « Connaissance géologique de La Réunion »

Observations de squelettes de coraux :

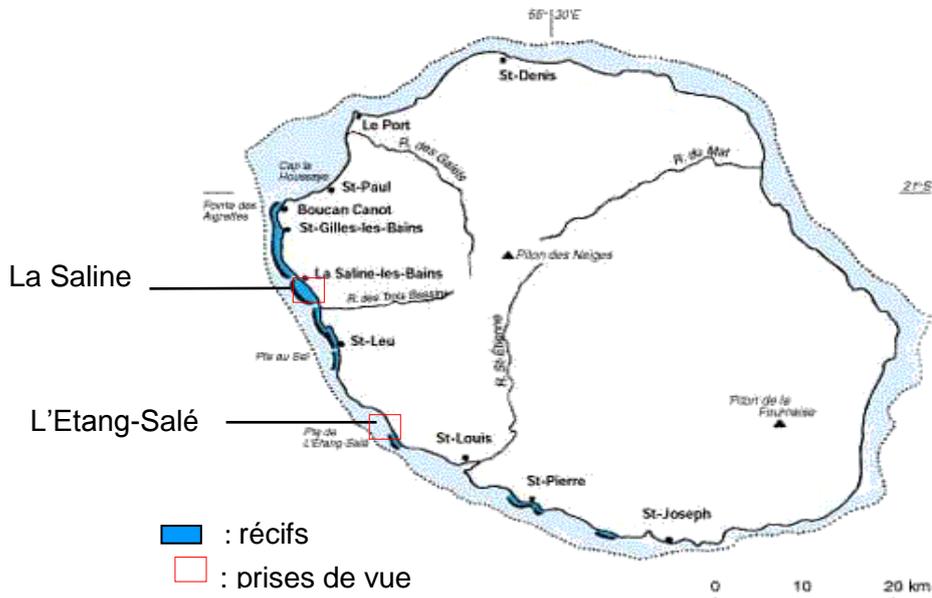
vue d'ensemble



Détail



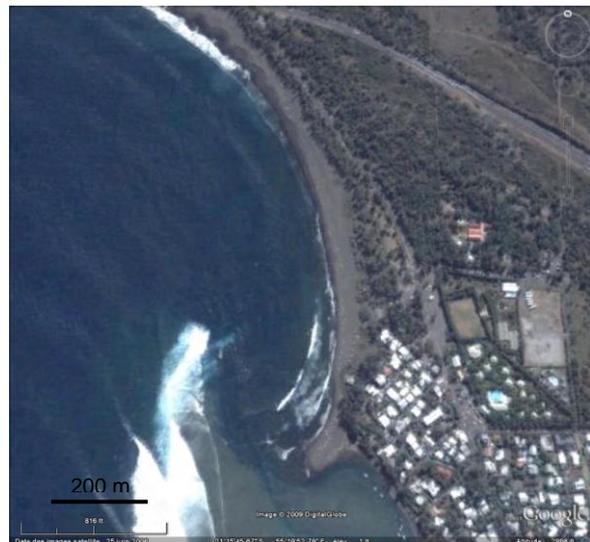
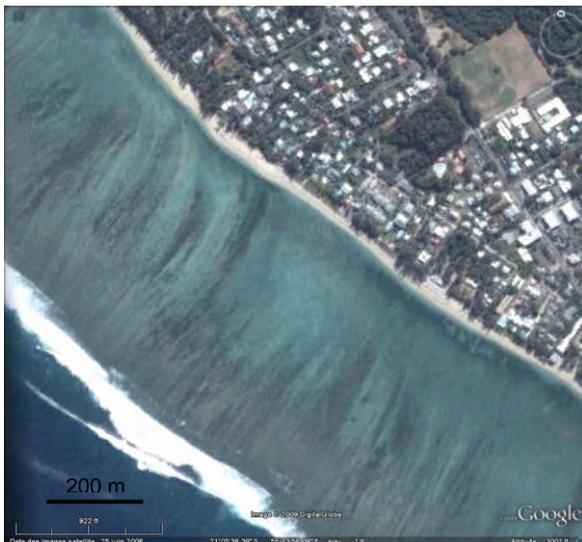
Document 7 : Carte de localisation des récifs et prises de vues aériennes du littoral pour les deux sites étudiés



D'après « écologie.gouv.fr »

La Saline

L'Etang Salé

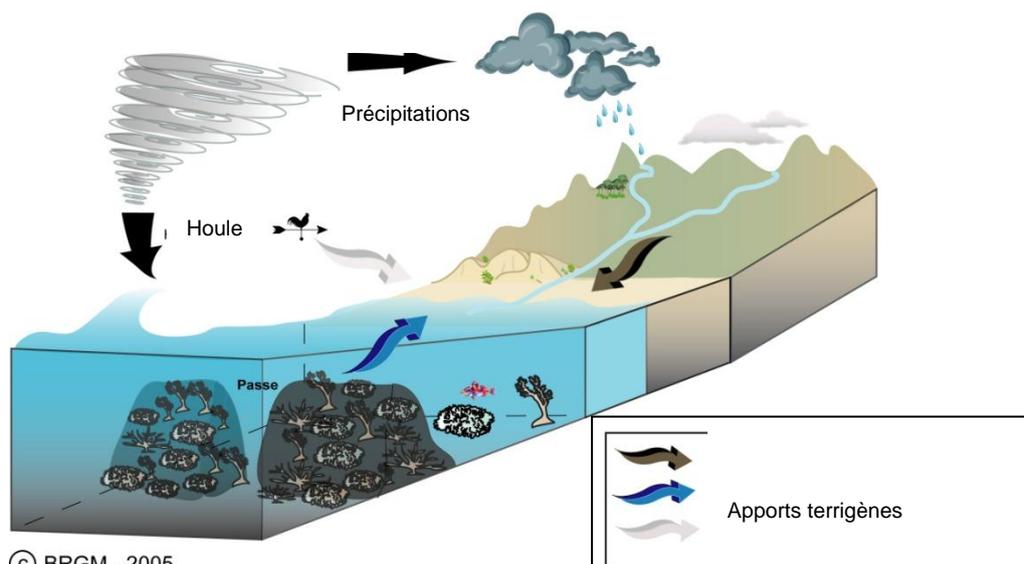


Extrait de Google Earth (altitude 914 mètres)

Document 8 : La dynamique côtière

« Les côtes évoluent par **érosion** et **sédimentation**.

Le milieu physique littoral subit l'influence de processus terrestres, marins et atmosphériques qui interagissent et participent à son évolution : la lithologie et la tectonique déterminent la sensibilité à l'érosion du littoral et des roches qui le composent ; l'hydrodynamique marine (vagues, marée, courants) est responsable du transport de sédiments sur le rivage tandis que les agents atmosphériques via les précipitations et l'hydrologie continentale amènent à la côte les sédiments fluviatiles issus de l'érosion des bassins-versants. »



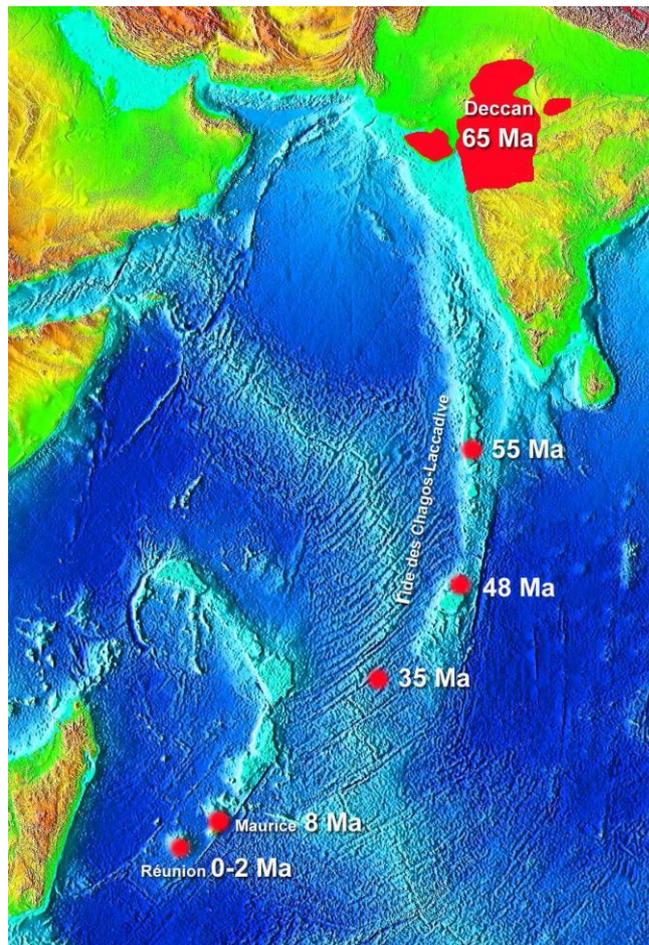
© BRGM - 2005

Facteurs intervenant dans le fonctionnement du système

Extrait de BRGM « Connaissance géologique de La Réunion »

Remarque : la durée du transport dans l'eau des particules constituant par la suite le sédiment a un effet sur leur aspect : si le transport est court les particules seront plutôt anguleuses ; si le transport est long les particules seront plutôt arrondies.

Document 9 : alignement volcanique Réunion - Deccan et âges des roches (d'après NOAA modifié par BRGM – 2003) [échelle 1/ 40 000 000]



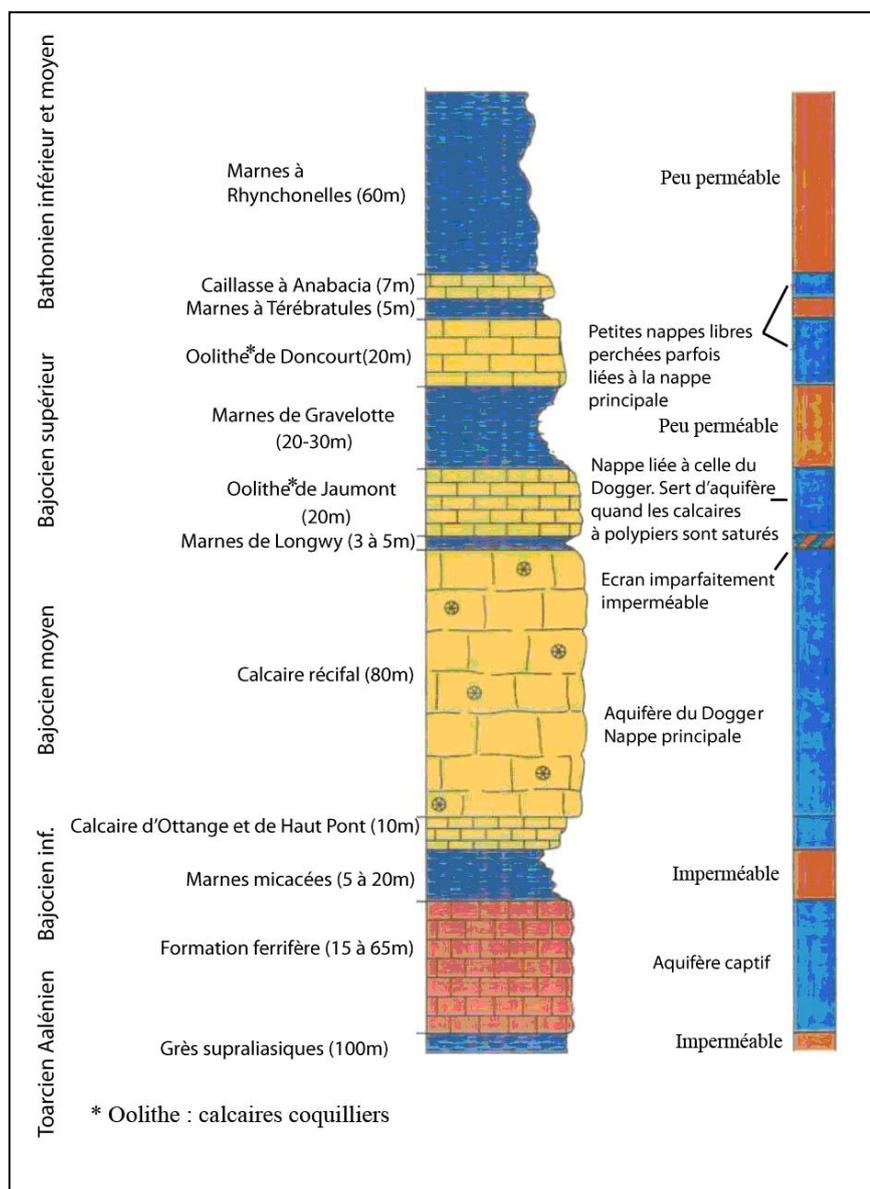
Questions :

- 1/ À l'aide des documents 2 et 3, expliquer la différence de température constatée entre les sables des deux plages.
- 2/ En mettant en relation les informations extraites des documents 2, 4, 5 et 6, déterminer quelles roches sont à l'origine de chacun des deux sables.
- 3/ À l'aide des documents 6 et 7, réaliser un schéma comparatif légendé des vues aériennes des deux sites. Faire apparaître les termes suivants : haute-mer, front récifal, platier, lagon, plage.
- 4/ Utiliser les documents 2, 4, 7 et 8 afin de décrire les processus à l'origine de la formation des sables des deux plages.
- 5/ On trouve, sur les plages des îles Maurice et Laquedives, des sables identiques à ceux de la plage de l'Étang Salé de la Réunion. Le document 9 indique les âges des éléments volcaniques de ces sables.
Expliquer les âges différents mesurés.
En déduire la position du plateau du Deccan, il y a 65 millions d'années.

Le devenir des mines de fer de Lorraine

Le bassin ferrifère lorrain couvre plus de 1 000 km² répartis en 2 bassins, celui de Briey-Longwy, le plus important au Nord, et celui de Nancy au Sud. Suite à la diminution des réserves, leur faible rentabilité, et face à la concurrence mondiale, l'exploitation du gisement s'est arrêtée progressivement (fermeture de la dernière mine lorraine à Audun-le-Tiche en 1998). Elle a ainsi laissé 40 000 km de galeries dans le sous-sol lorrain. L'homme ayant cessé d'intervenir par pompage, ces galeries se sont remplies d'eau. On parle alors d'ennoyage des galeries.

Quel est l'impact de l'arrêt de l'activité minière sur le fonctionnement de la nappe phréatique et sur l'environnement ?



Document 1. Coupe stratigraphique et localisation des nappes d'eau souterraines
(d'après Kimmel, 2000 – Rapport BRGM/RP-53276-FR)

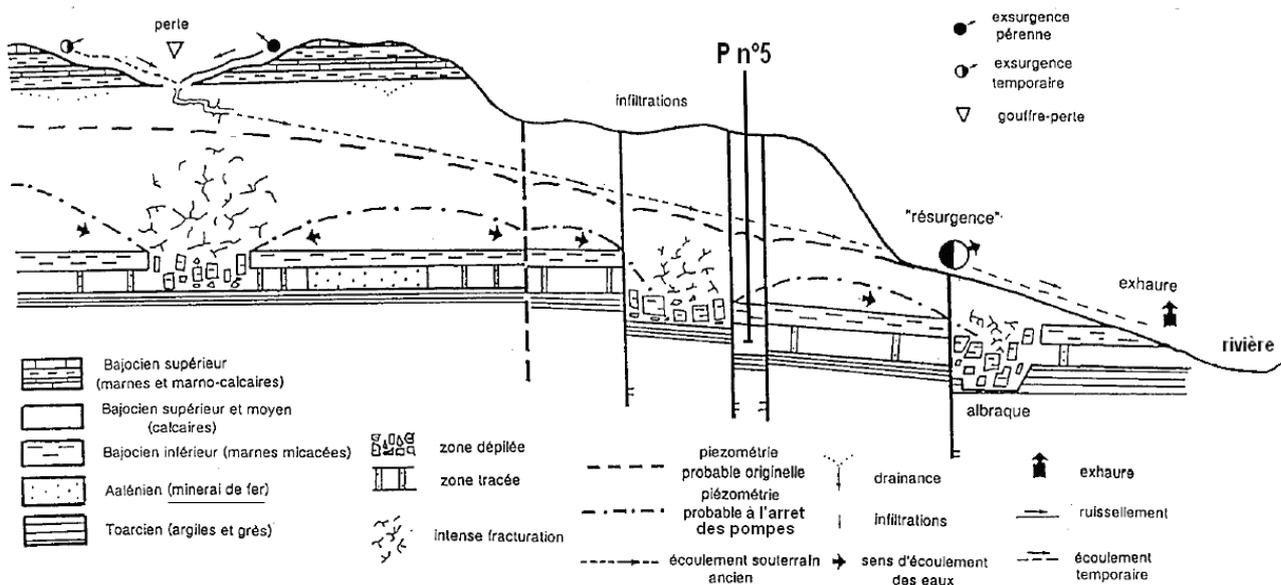
Un aquifère est un terrain qui contient une nappe d'eau souterraine.

propriétés roches	Taux de progression de l'eau au sein d'une roche (par jour)	Porosité efficace *
Sables et graviers	1000m à 10m	15 à 25%
Argile	0,1cm à 0,01mm	0 à 1%
Calcaire (fissuré)	1000m à 10cm	10 à 50%
grès	100m à 1m	2 à 15%
marne	10cm à 1mm	3 à 10%

*La porosité efficace correspond au pourcentage du volume de "vides" interconnectés capables de retenir l'eau de gravité et de la restituer. Elle correspond à la proportion d'eau mobilisable.

Document 2. Quelques caractéristiques pétrologiques

D'après Institut français du pétrole. Cours de géophysique. Université de Lausanne. D. Chapellier et J-Luc Mari



P n°5 : position possible du puits n°5 du document 4

La piézométrie est le niveau d'eau au sommet d'une nappe souterraine.

Une exsurgence ou résurgence est une source en général à fort débit où des eaux souterraines réapparaissent en surface.

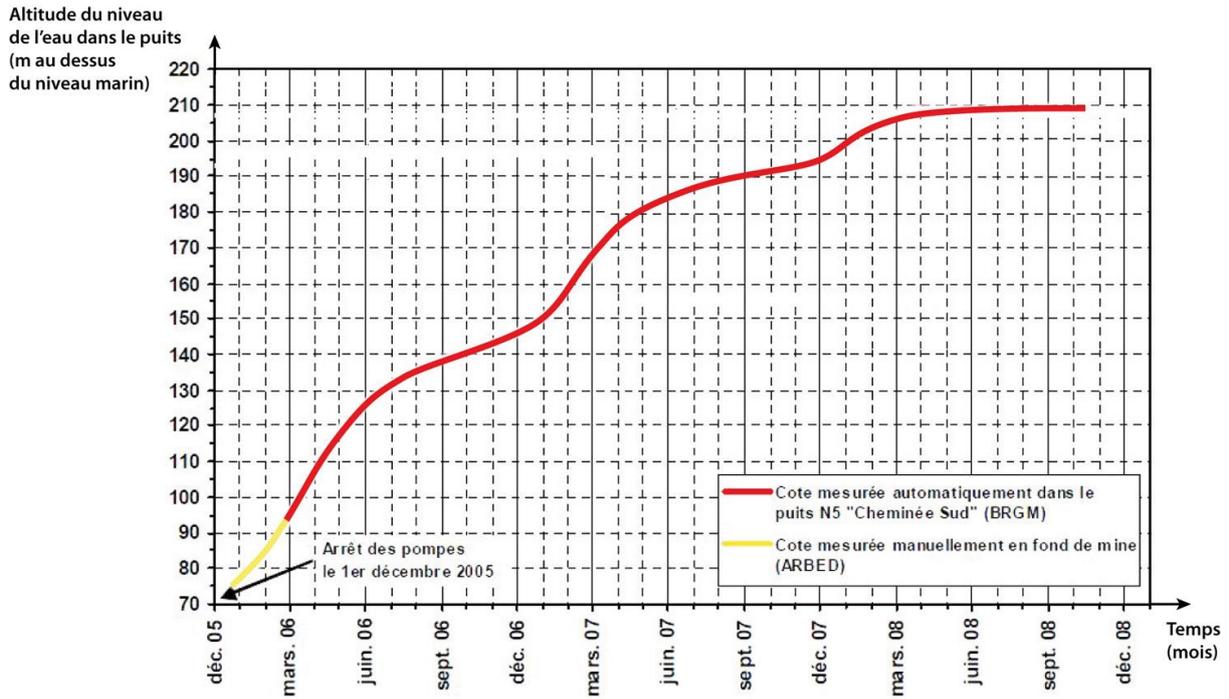
Les eaux d'exhaure sont les eaux pompées.

Une zone tracée est une zone exploitée en chambres (minéral extrait) et piliers.

Une zone défilée a perdu ses piliers après foudroyage réalisé suite à l'arrêt de l'exploitation.

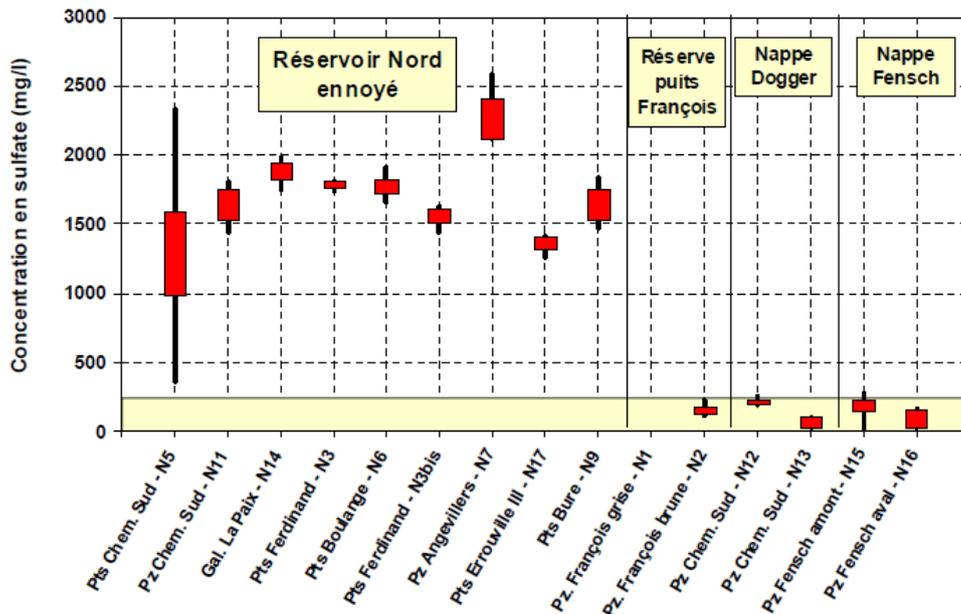
Document 3. Schéma de principe des écoulements souterrains dans les calcaires du Bajocien moyen et supérieur et le réservoir minier (à rendre avec la copie).

(D'après SCM et AERM, modifié)



L'ennoyage du réservoir minier Nord a débuté lorsque les dernières pompes d'exhaures ont été arrêtées. On estime qu'il est total lorsque le niveau du réservoir dans le puits N5 atteint la cote 207 mètres.

Document 4. Exemple du suivi de l'ennoyage au puits N5 « cheminée Sud »



BRGM - Bassin Ferrifère : Surveillance Eau – 2^{ième} semestre 2008

Document 5. Concentrations en sulfate mesurées depuis la fin de l'ennoyage pour 15 puits ou forages surveillés dans le bassin ferrifère Nord à un instant donné.

Les marnes intercalées dans la série sédimentaire (document 1) contenant de la pyrite FeS_2 , se sont retrouvées à l'air libre suite aux travaux miniers (galeries d'exploitation, fracturation, abaissement du niveau des nappes d'eau). La pyrite s'est oxydée en sulfates. Lors de l'ennoyage des mines, le temps de résidence de l'eau dans les roches est bien plus long qu'avant ennoyage, si bien que les sulfates (SO_4^{2-}) ont le temps de se dissoudre dans l'eau.



Document 6. Origine des sulfates dans l'eau d'ennoyage.

D'après Géologie et géographie de la Lorraine, Annette Lexa-Chomard et Christian Pautrot, Ed Serpenoise

Paramètres	Valeur maximale admissible
Turbidité	2 UNTH
pH à 20°C	entre 6,5 et 9
dureté totale	10°TH français
nitrate	50 mg.L ⁻¹
nitrite	0,1 mg.L ⁻¹
chlorures	200 mg.L ⁻¹
sulfates	250 mg.L ⁻¹
sodium	150 mg.L ⁻¹

Document 7. Quelques normes physico-chimiques de potabilité de l'eau

Questions :

- 1- Documents 1 et 2 : identifier les propriétés des roches qui permettent d'expliquer la constitution d'un réservoir d'eau sous forme de nappes souterraines.
- 2- Sur la coupe géologique du document 3 (à rendre avec la copie) :
 - a- indiquer par des flèches comment l'eau s'infiltré depuis la surface jusqu'au minerai de fer,
 - b- tracer par des flèches le sens d'écoulement de l'eau dans la nappe du minerai.
- 3- Déterminer graphiquement sur le document 4 à quelle date a eu lieu l'ennoyage total au puits N5. Calculer la progression journalière en centimètres par jour de la montée de l'eau pendant la période de temps allant de l'arrêt du pompage à l'ennoyage total.
- 4- Les eaux pompées (appelées eaux d'exhaures) lors de l'exploitation des mines ont été utilisées comme source d'eau potable par des communes et aussi pour des besoins industriels locaux.
Est-il encore possible de maintenir une certaine activité de pompage de l'eau pour continuer à subvenir sans danger aux utilisateurs ? Justifier.
- 5- A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents, présenter les arguments qui permettent de préciser l'impact de l'arrêt de l'activité minière sur le fonctionnement de la nappe phréatique et sur l'environnement.

SESSION 2010

**OLYMPIADES
ACADEMIQUES DES
GEOSCIENCES**

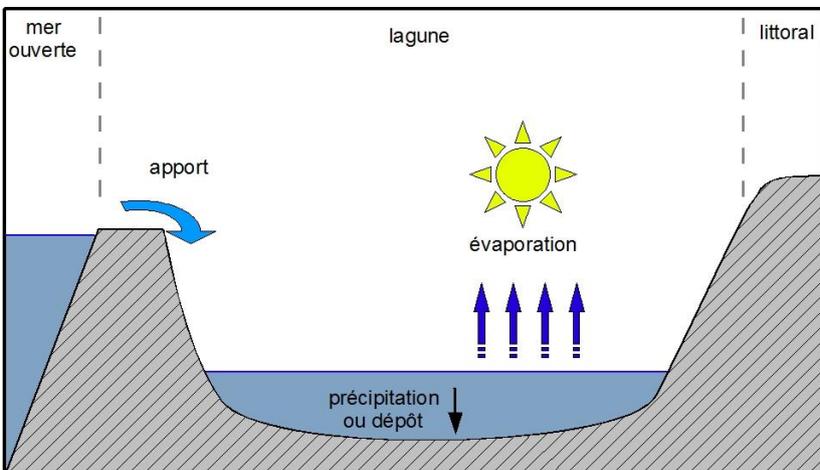
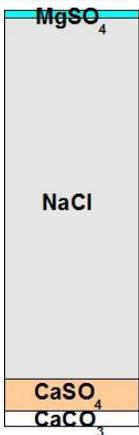
**ACADEMIES DE
BESANÇON, DIJON,
LILLE, NANCY-METZ,
REIMS, STRASBOURG**

Proposition de corrigé et barème.

EXERCICE 1

QUESTION	Saisies d'informations	Interprétations	Points
1	<ul style="list-style-type: none"> - 3°C tous les 100 m - 60°C à 100°C - 50 m par Ma 	<ul style="list-style-type: none"> - Les profondeurs de la fenêtre à huile : 2000 à 3 333 m (3 300) - 60 Ma 	0,5 0,5
2	<ul style="list-style-type: none"> - Corrélation entre les hauts niveaux marins et l'importance des réserves de pétrole. - Mise en relation des documents 2a et 2b, abondance des organismes planctoniques au moment de la transgression Cénomaniennne puis disparition. 	<ul style="list-style-type: none"> - Transgressions favorables à la formation du pétrole - Accumulation d'une grande quantité de matière organique à l'origine du pétrole. 	1 1
3	<p>Attentes du schéma :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Localisation du pétrole dans le sable (roche poreuse) - Localisation dans la zone anticlinale et à droite de la faille (structure tectonique favorable au piégeage) 		1 1
4	<p>Citer 4 caractéristiques favorisant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - profondeur adéquate (2 à 3 km) - roche-mère mature - roche réservoir (sable) avec une couverture étanche (argiles) - marge passive et (ou) apport de sédiments = enfouissement rapide de la matière organique. 		2
5	<p>Caractéristiques des roches aux cinq points :</p> <p>Doc5b A, C, E proches de 100%, B et D proches de 0%</p> <p style="padding-left: 40px;">Avec PPS= - 50mV, PS = 0 mv (en A, C, E) PS = -50mV (en B et D)</p> <p>Doc5a Mud cakes correspondants au taux les plus faibles en argiles (donc riche en sable)</p>		0,5 0,5
	<p>Attendus du dessin</p> <p>3 zones imperméables + 2 zones de roches poreuses</p> <p>roches réservoirs = les zones de roches poreuses.</p>		1
6	<p>Résultat final correct du calcul</p> <p style="padding-left: 40px;">106 794 339,6 barils</p> <p style="padding-left: 40px;">7 475 603 774 dollars</p>		1

Exercice 2

Saisies d'informations	Interprétations	Points
Question 1		
<p>Les informations suivantes tirées du doc 1...</p> <ul style="list-style-type: none"> • « ... d'eau de mer coupées de la mer » • « L'eau salée se retrouve piégée ... » • « ...va alors s'évaporer rapidement » • « Ces minéraux précipitent ... » 	<p>... permettent de retrouver la succession suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apports marins • Isolement de l'eau de mer (piégeage) • Évaporation • Précipitation des minéraux <p style="text-align: center;">Les 4 conditions présentes Chronologie respectée</p> <p>La formation de la lagune est hors sujet</p>	<p>1 0,5</p>
 <p>Le schéma illustre la formation d'une lagune. À gauche, la 'mer ouverte' est séparée de la 'lagune' par un 'littoral' (digue). Une flèche bleue indique l'apport d'eau de mer dans la lagune. Au-dessus de la lagune, un soleil est représenté, avec des flèches bleues pointant vers le haut, indiquant l'évaporation. À l'intérieur de la lagune, des flèches bleues pointent vers le bas, indiquant la 'précipitation ou dépôt' de minéraux.</p>		
<p>On souhaite retrouver sur le schéma les 4 conditions de formation d'une évaporite quelque soit la représentation qui en est faite. L'isolement peut être représenté par une différence des niveaux de l'eau (comme sur le schéma ci-dessus) ou par une légende.</p> <p>Un schéma clair représentant la chronologie (remplissage, séparation, évaporation) peut être accepté.</p>		
Question 2		
 <p>La stratigraphie des évaporites est représentée par une colonne verticale. De haut en bas, les couches sont : MgSO₄ (couche la plus épaisse), NaCl (couche moyenne), CaSO₄ (couche fine), et CaCO₃ (couche la plus fine).</p>	<p>La représentation doit mettre en évidence :</p> <p>L'ordre des dépôts (légende nécessaire)</p> <p>L'épaisseur relative</p> <p>On n'attend pas une représentation exacte des épaisseurs</p>	<p>0,5</p> <p>0,5</p>

<p>Doc 1b</p> <p>Le CaCO₃ précipite pour une faible densité (concentration) de la solution...</p> <p>Le MgSO₄ précipite pour une forte densité...</p> <p>Doc 1a</p> <p>Différences de concentration des ions dans l'eau de mer</p>	<p>Au cours évaporation, la concentration (ou salinité) augmente (augmentation de la densité).</p> <p>... c'est donc le premier à se déposer.</p> <p>...donc, il précipite en fin d'évaporation.</p> <p>On retrouve donc la série évaporitique correspondant à l'ordre des précipitations</p> <p>L'épaisseur des dépôts dépend des teneurs (concentrations).</p>	<p>1</p> <p>0,5</p>
Question 3		
<p>Au Lias le BP est inondé À l'Éocène Bras de mer lèche le BP Mer presque fermée</p>	<p>Malgré l'absence d'information sur la profondeur, le BP semble correspondre à un milieu lagunaire à l'Éocène compatible avec la formation de gypse</p>	1
<p>Comparaison carte gisements et Éocène Disposition du gisement du BP « épouse » la forme du bras de mer :</p>	<p>formation probable de ce gypse à l'Éocène</p>	1
Question 4		
<p>Noms + les formules indiquent une perte en eau dans les molécules</p>	<p>Déshydratation ou élimination de l'eau de la molécule</p> <p>Dessèchement refusé</p>	1
<p>Morceau de gypse + Chauffage + broyage (inverse accepté)</p>		
Question 5		
<p>Les cavités naturelles ou creusées par l'homme sont à l'origine de l'instabilité des terrains situés au dessus du gypse. Ces effondrements peuvent être provoqués par la rupture brutale de cavités d'anciennes carrières abandonnées.</p>	<p>D'après le schéma : plusieurs couches de gypse exploitées dans le BP plusieurs niveaux de dégradation</p> <p>Double origine des cavités</p>	1
	<p>Comblement des cavités artificielles (ou des fontis en cours de formation). Toute autre méthode tangible acceptée.</p>	0,5

Exercice 3

Saisies d'informations	Interprétations	Points
<p>1 Le document 2 présente les pourcentages d'absorption des deux sables : 75,2 % pour le sombre et 28,2 % pour le clair.</p> <p>Le document 3 montre que plus l'absorption d'énergie lumineuse est intense et plus la quantité de chaleur dégagée est élevée.</p>	<p>À l'Etang-Salé, l'essentiel de la lumière incidente est absorbée par le sable foncé puis convertie en chaleur. La température est donc élevée.</p> <p>À La Saline, l'essentiel de la lumière est réfléchi par le sable clair. La température est donc faible.</p>	2
<p>2 Doc 2, 4 et 5 : le sable de l'Etang-Salé est sombre tout comme l'océanite.</p> <p>Il contient des particules noires mates comme de la pâte et vertes translucides comme des phénocristaux d'olivine.</p> <p>Doc 2, 4 et 6 : le sable de La Saline est clair tout comme du corail. Certaines de ses particules présentent d'ailleurs des ornements similaires.</p> <p>Doc 2: le sable de La Saline fait effervescence à l'acide contrairement à celui de l'Etang-Salé.</p>	<p>Le sable de l'Etang-Salé proviendrait de l'altération d'océanite.</p> <p>Le sable de La Saline proviendrait de l'altération de corail.</p> <p>Relation avec doc 6 (et 4) : le sable de La Saline est carbonaté, pas celui de l'Etang-Salé (silicaté), ce qui confirme les propositions précédentes.</p>	1 1
<p>3 Mise en page permettant de grouper les légendes : points communs, différences (à La Saline, la plage est séparée de la haute-mer par un récif ; à l'Etang-Salé, la plage borde directement l'océan).</p> <p>Qualités de la représentation (taille, précision et soin du tracé,...)</p> <p>Légendes correctes.</p>		2
<p>4 Doc 2 : le sable de l'Etang-Salé est composé de particules émoussées ; celui de La Saline de particules plutôt anguleuses.</p> <p>Doc 7 et question 3 : pas de récif devant la plage de l'Etang-Salé contrairement à celle de La Saline.</p> <p>Doc 4 : l'intérieur de l'île contient de nombreuses océanites.</p>	<p>Relation avec doc 8 : le premier sable a dû subir un long transport contrairement au second.</p> <p>Le sable de l'Etang-Salé serait issu de l'érosion de coulées de laves de l'intérieur de l'île, suivie d'un transport assez long des particules par les rivières et les courants littoraux.</p> <p>Le sable de La Saline serait issu de l'érosion du récif situé face à la plage, suivie d'un transport très court par les vagues.</p>	2
<p>5 Doc 9 : l'âge des éléments volcaniques des sables constituant les plages de l'Etang-salé à la Réunion, des îles Maurice et Laquedives est croissant depuis l'île de la Réunion.</p> <p>L'île de la Réunion est à la verticale d'une remontée de matériaux chauds. C'est un point chaud, fixe alors que la plaque lithosphérique Inde se déplace vers le Nord-est.</p> <p>Il y a 65 millions d'années, le plateau du Deccan se trouvait au niveau de l'île de la Réunion.</p>		0,5 1 0,5

Exercice 4

Saisie de données	déductions	Pts
<p>Q1- L'eau s'accumule dans les roches perméables et poreuses : calcaires oolithiques et récifaux. Elle y reste car le niveau sous-jacent est imperméable et peu poreux (marnes).</p>		2
<p>Q2- sens des flèches vertical / horizontal, bon positionnement</p>		1
<p>Q3- En ordonnée, la côte 207 mètres correspond à début mars 2008 en Abscisse: L'envoyage du réservoir Nord a débuté le 1er décembre 2005 à 70-75 m</p>	<p>Fin de l'envoyage le 01/03/2008.</p> <p>Donc le calcul de la progression journalière de la montée de l'eau pendant cette période est :</p> <p>Calcul élévation du niveau du réservoir entre le 1^{er} décembre 2005 (72 m) et le 1^{er} mars 2008 (207m) :</p> <p style="padding-left: 40px;">$207 - 72 = 135$ m environ</p> <p>Du 01/12/05 au 01/03/08 : 819 jours L'envoyage du réservoir Nord aura donc duré 2 ans et 4mois. D'où : $135\text{m} / 819 \text{ j} =$ moyenne du niveau a été de <u>16,5 cm par jour</u> Accepter les valeurs entre 15 et 20 cm/j</p>	0,5 1
<p>Q4- Doc 6 : Taux de sulfates dans réservoir N (différentes valeurs entre 1000 et 2400 mg.L⁻¹) Or doc 8 Norme < 250 mg.L⁻¹ C'est + de 6 fois la norme ! Doc 7 : H+ produit = acidification Or doc 8 norme pH [6,5-9]</p>	<p>Eau non potable par excès de sulfates et peut-être acidité, pompage impossible (sans traitement)</p>	1,5
<p>Q5-</p> <p>Doc 3 : niveau des marnes micacées discontinu suite au foudroyage des piliers de la mine Doc 3 : comparaison des 2 piézométries : rabattement du toit de la nappe au niveau des zones défilées</p> <p>Doc 3 : infiltration d'eau qui stagne dans la nappe suite au foudroyage des piliers Doc 7 : sulfates formés précédemment par oxydation de la pyrite Doc 3 : Sortie de l'eau de la nappe au niveau de la rivière, voire résurgence par fortes pluies.</p>	<p>Impact de l'arrêt de l'exploitation sur le fonctionnement de la nappe souterraine du minéral</p> <p>Du fait de la discontinuité du niveau des marnes micacées, mise en communication de la nappe du Dogger (nappe principal) avec la nappe captive de la formation ferrifère.</p> <p>Conséquences :</p> <p>Baisse importante du niveau piézométrique de la nappe principale Assèchement des sources</p> <p>Les impacts sur l'environnement (Q4) L'eau se charge en sulfates et H+ (acidité) ce qui rend l'eau impropre à la consommation La pollution se propage à la rivière en période de hautes eaux.</p>	1 1 1