

SESSION 2010

**ACADEMIES DE CORSE,
GUADELOUPE, GUYANE,
LA REUNION,
MARTINIQUE, PARIS**

Durée de l'épreuve : 4h.

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

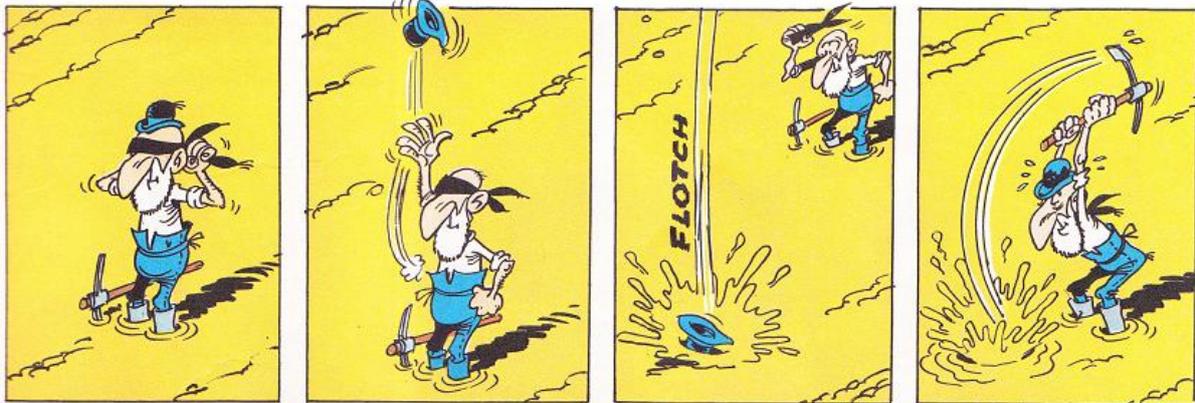
Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

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.

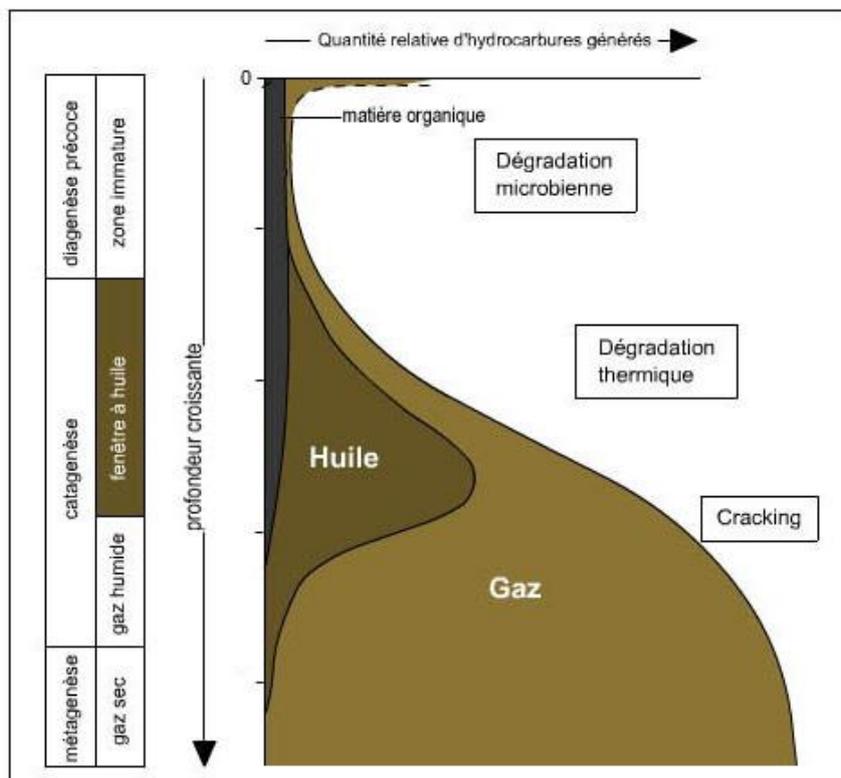
A FORMATION DU PETROLE A PARTIR D'UNE ROCHE MERE PLANCTONIQUE

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.

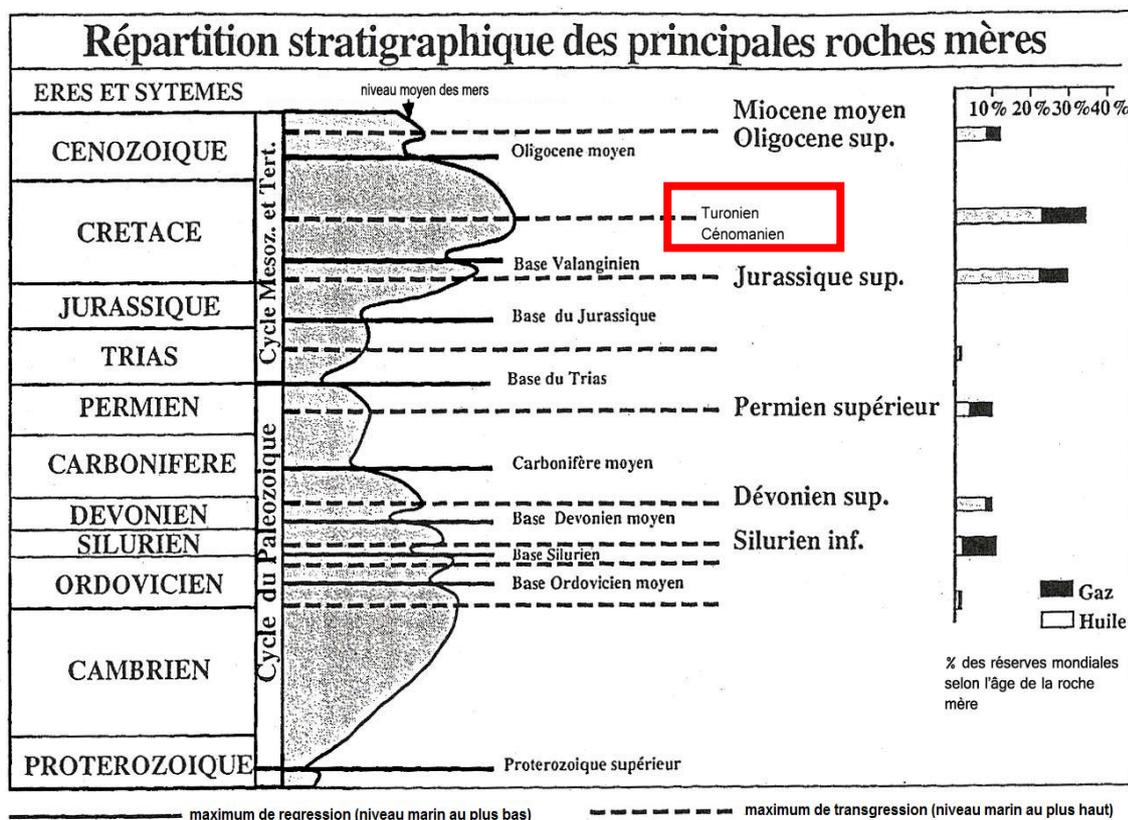
On estime qu'il se dépose en moyenne 50 m de sédiments par million d'années. La température croît au cours de l'enfoncement en moyenne de 3°C tous les 100 m. Cet enfouissement conduit, d'une part à une transformation progressive des sédiments en roches et, d'autre part, à la dégradation thermique des 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.

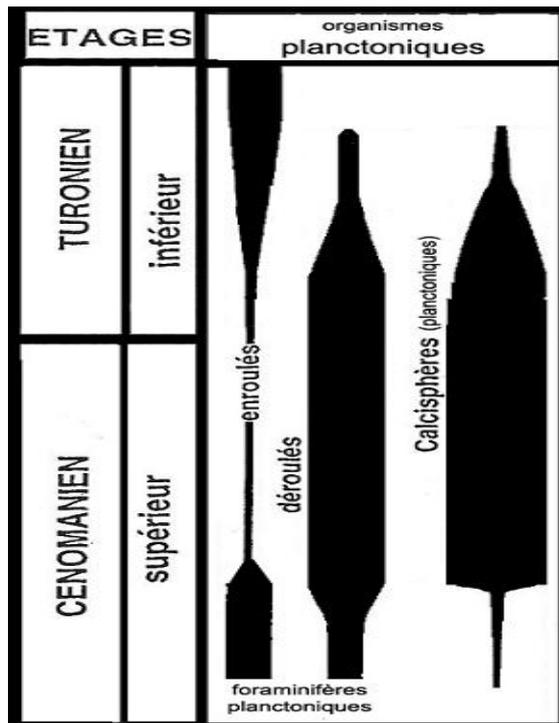
Doc.1a : Les conditions de formation du pétrole



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)

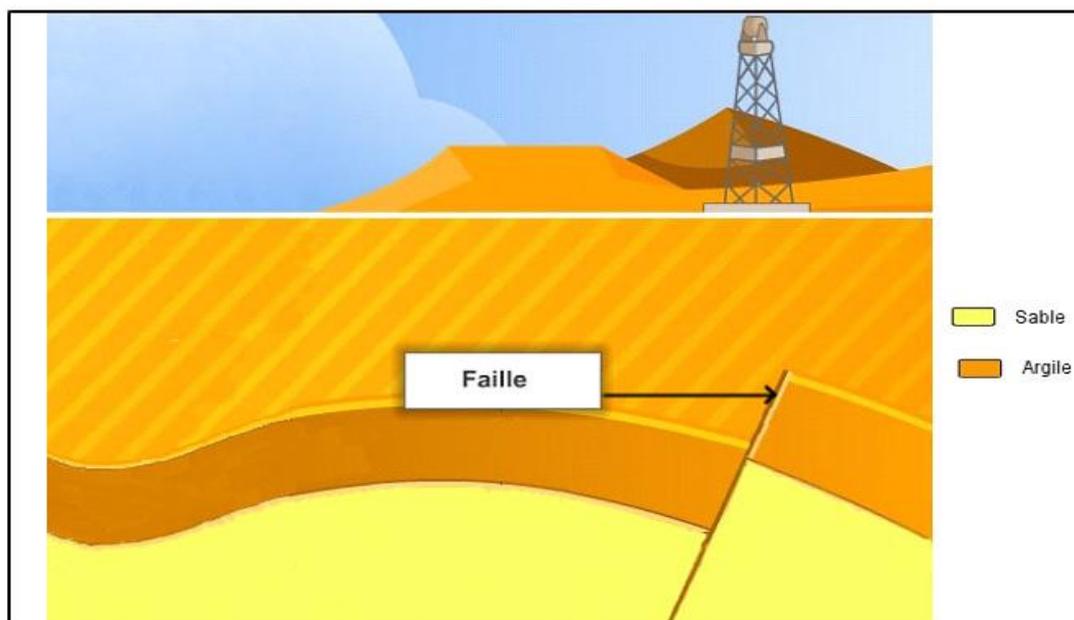


Doc. 2b : Abondance de quelques groupes marins au cours du Cénomanién supérieur et du Turonien inférieur (d'après J. Philip, 1986)

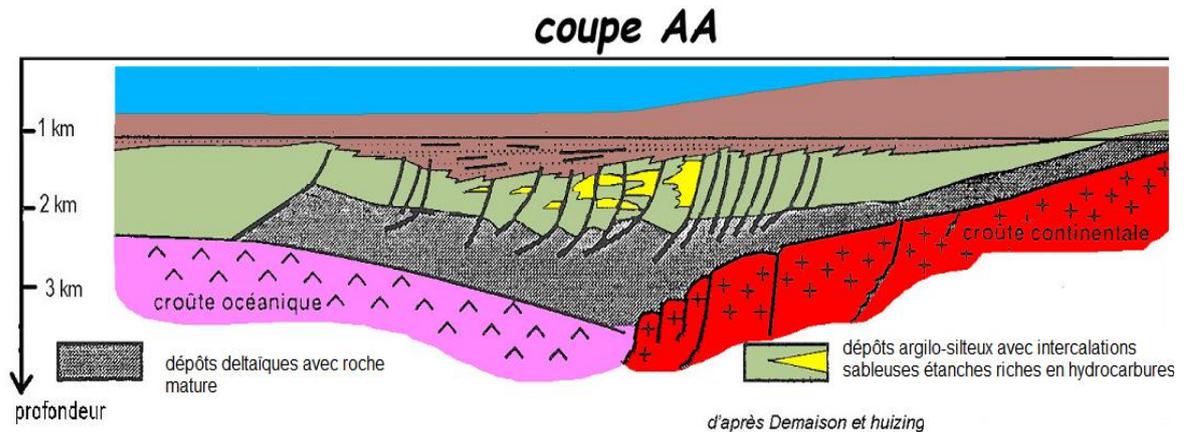
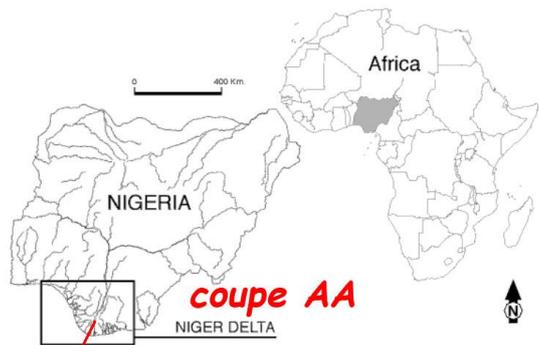
B MIGRATION ET PIEGEAGE DU PETROLE

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).



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.

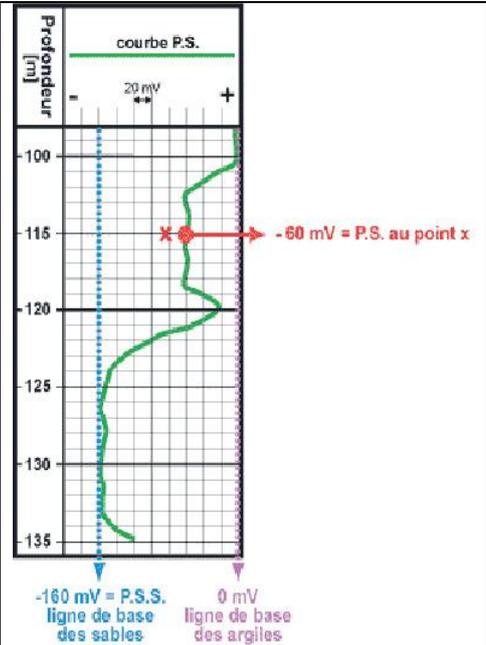
Détermination de la concentration en argile d'une couche :

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

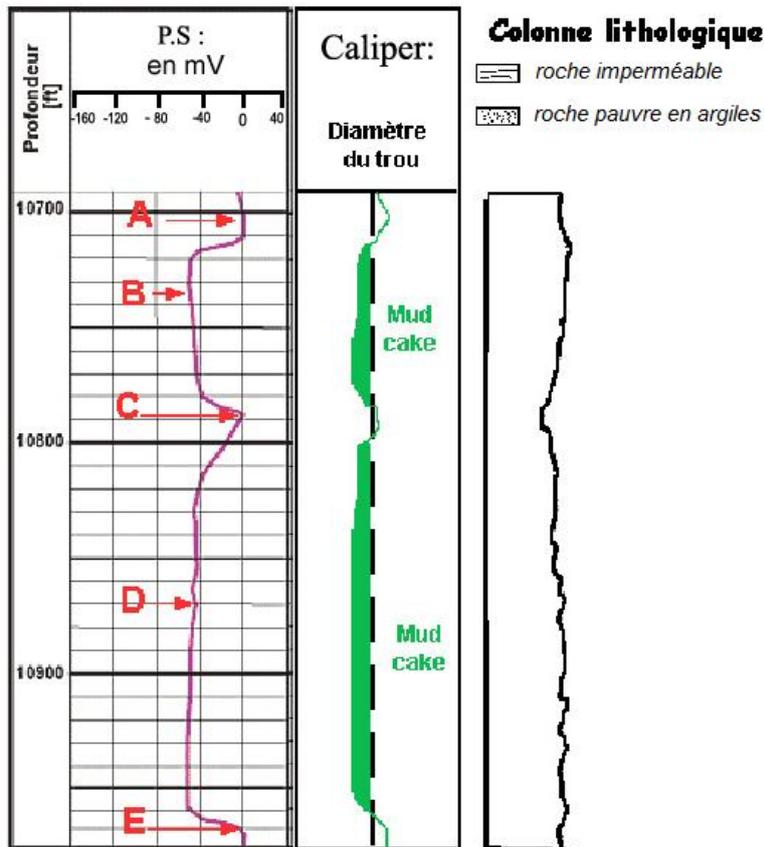
Vsh = volume d'argile [en %]

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

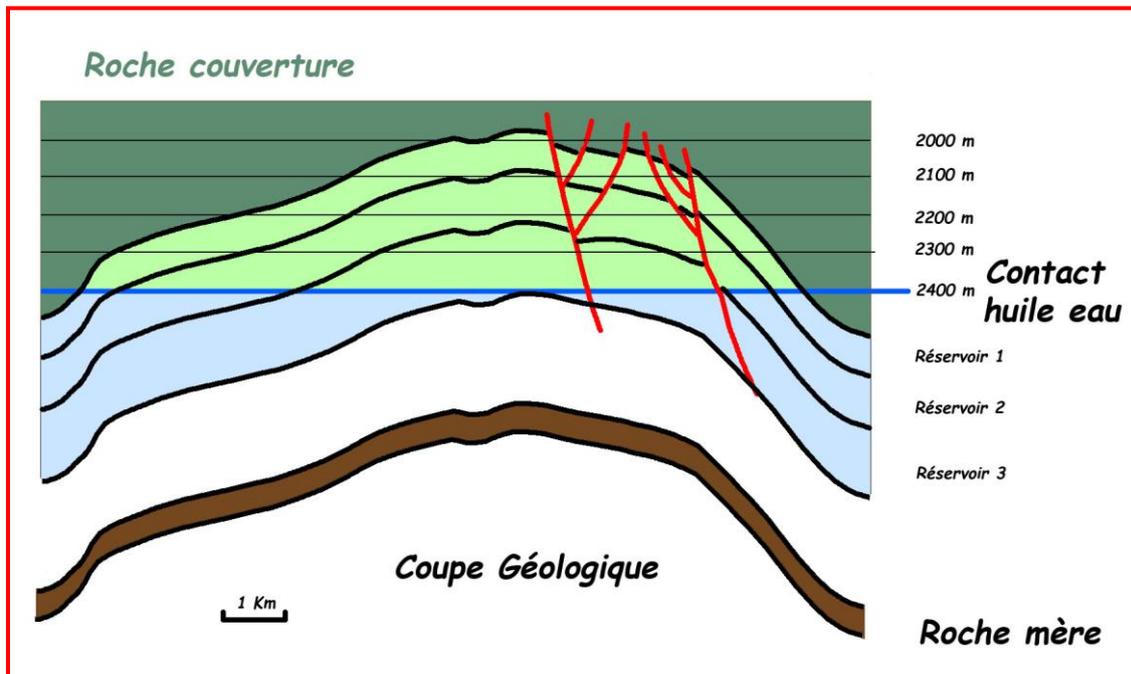


Doc 5c : Etude d'un sous-sol par diagraphie (log P.S. et caliper) et colonne lithologique associée à ce forage.

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 : $\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$. 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.

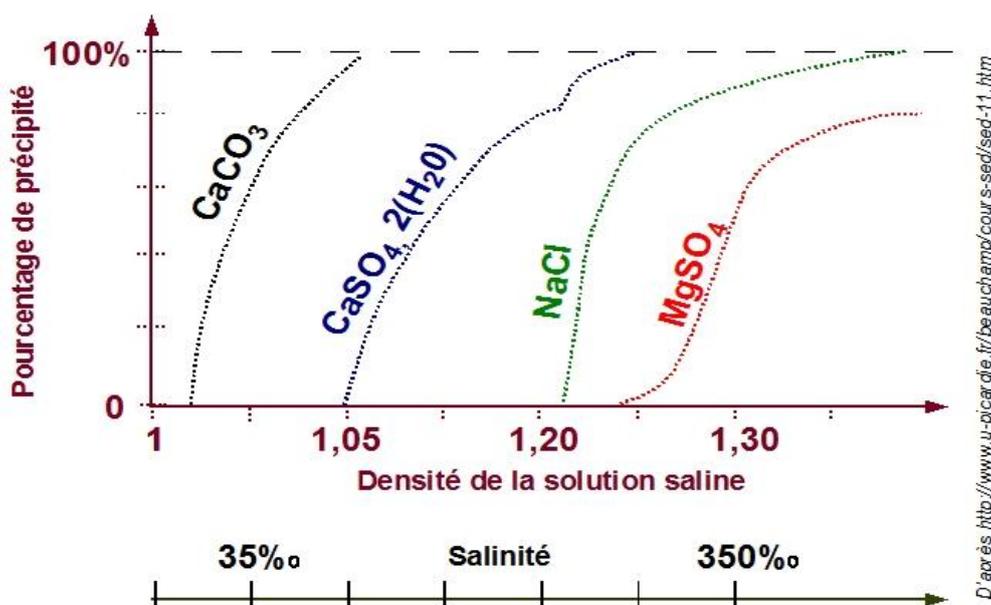
Principaux ions de l'eau de mer			Minéraux déposés par évaporation	
Ions	Charge	Teneur en g.L^{-1}	Nom commun	Formule
Chlorure	Cl^-	19,5	Sel commun	NaCl
Sodium	Na^+	11	Sel commun	NaCl
Sulfate	SO_4^{2-}	2,7	Gypse	$\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$
Magnésium	Mg^{2+}	1,3	Sel d'Epsom	MgSO_4
Calcium	Ca^{2+}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

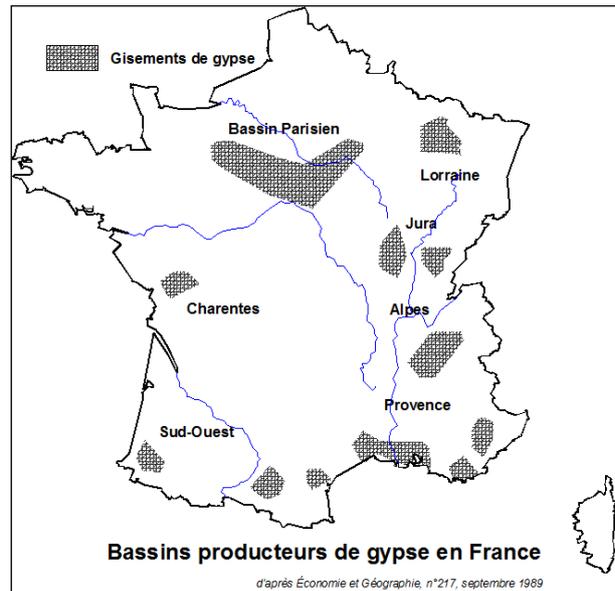
Le graphique ci-dessous représente la quantité de matériaux précipités dans une solution saline en cours d'évaporation en fonction de sa densité, reflet de sa concentration.



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

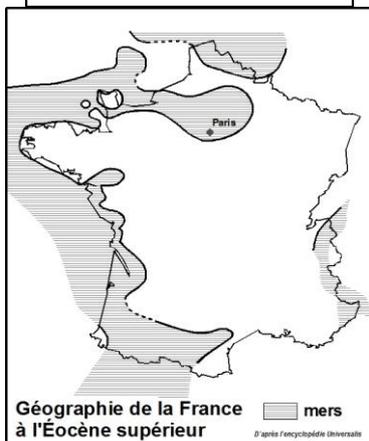
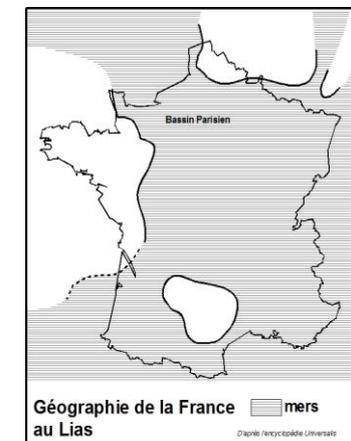
Document 2a - Les gisements français

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
		Miocène
		Oligocène
	Paléogène	Éocène
		Paléocène
		Supérieur
	Mésozoïque	Crétacé
		Inférieur
	Jurassique	Malm
		Dogger
		Lias
- 65 Ma		

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%

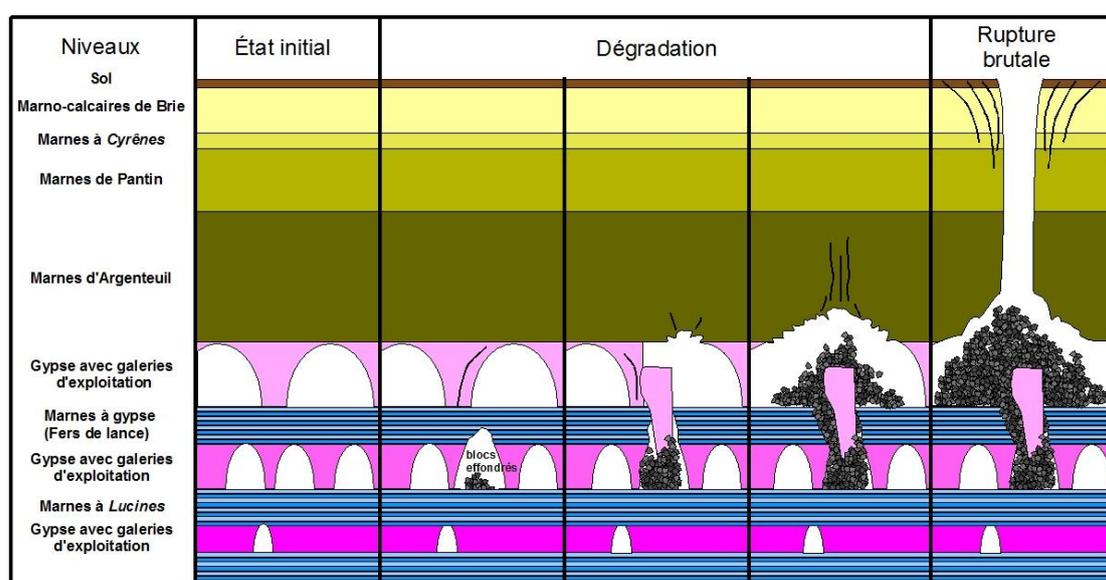
D'après
Le bulletin de l'union des physiciens
vol. 91 – Janvier 1997

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

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.

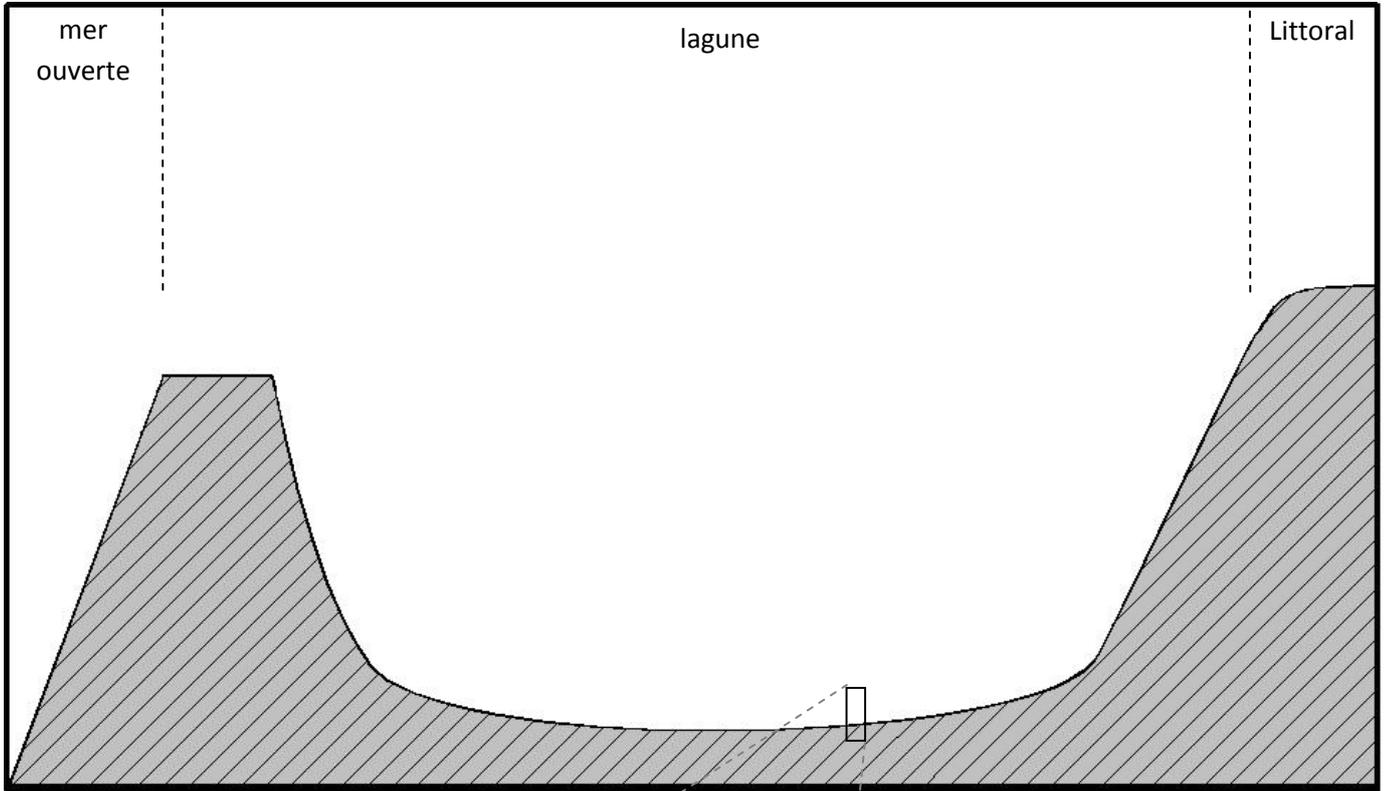
5. le document 4 : donner les raisons géologiques expliquant que le Bassin Parisien connaît de nombreux effondrements de terrains. Proposer une solution envisageable pour prévenir ces risques.

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

NOM :

Prénom :

Document annexe 1



Document annexe 2



Exercice : l'ensablement du Mont Saint-Michel

Le Mont Saint-Michel attire de nombreux touristes ; la beauté du site lui vaut d'être classé au patrimoine mondial de l'UNESCO. L'une des raisons de l'engouement qu'il suscite est sans doute sa situation atypique : il est perché sur un bloc rocheux au milieu de la mer, bercé par les marées. Au milieu de la mer ? Plus pour longtemps selon les porteurs du projet « Mont Saint-Michel ». Les sédiments apportés par la marée montante s'accumulent depuis de nombreuses années. Ils colmatent chaque jour un peu plus la baie, menaçant l'insularité du Mont Saint-Michel. Le projet en cours de réalisation vise à le préserver et à lui redonner son caractère maritime.

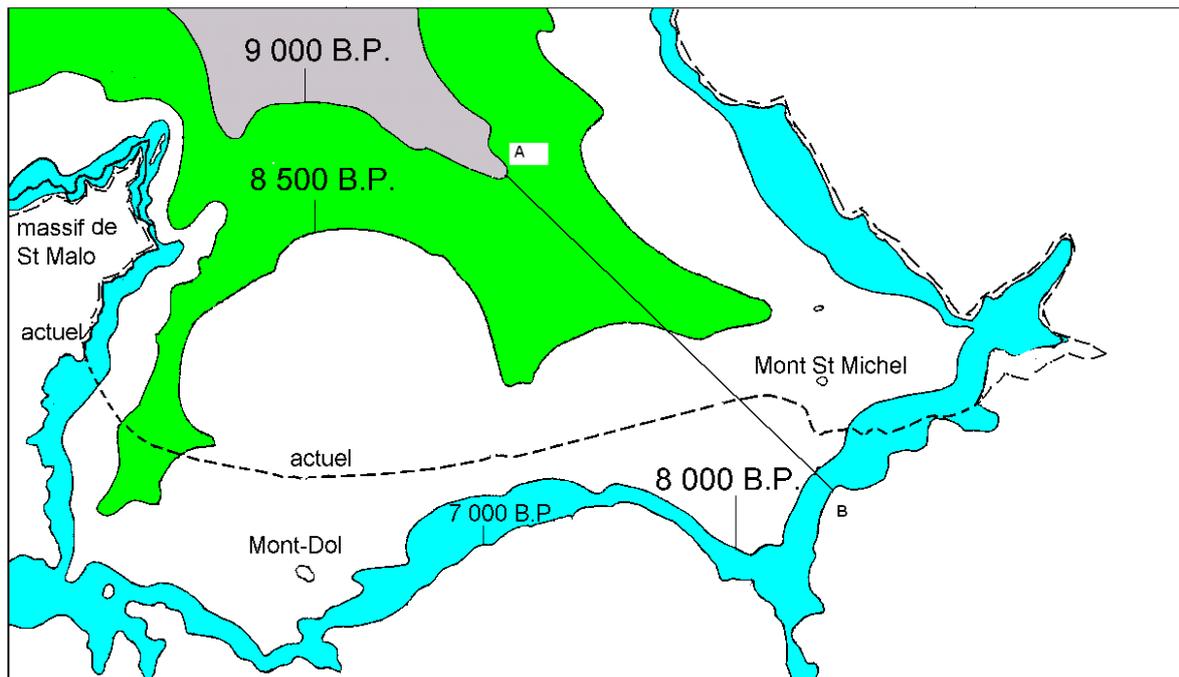
Document 1 : Situation du Mont Saint-Michel et aménagements réalisés par l'Homme.

D'après Wikipédia et Google Earth

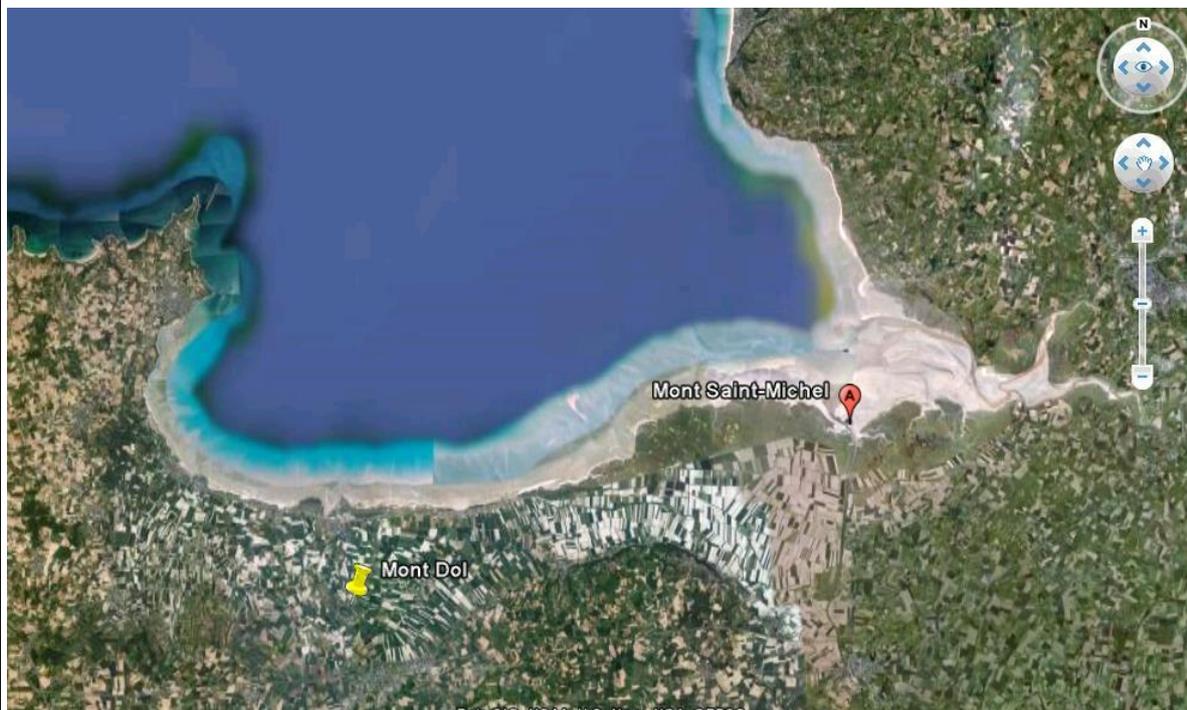


La région du Mont Saint Michel est aujourd'hui riche en cultures. Or les terres cultivées sont souvent au dessous du niveau de la mer. Ce sont les polders. De nombreux aménagements réalisés par l'Homme empêchent leur inondation soit par les eaux du Couesnon soit par celles de la Mer. Ainsi l'Homme, a réalisé des digues qui empêchent les marées hautes d'inonder les terres, a canalisé le Couesnon pour éviter son débordement et construit le barrage de la caserne pour éviter les remontées d'eau de mer.

Document 2 : Rivages actuels et paléorivages de la région du Mont Saint-Michel

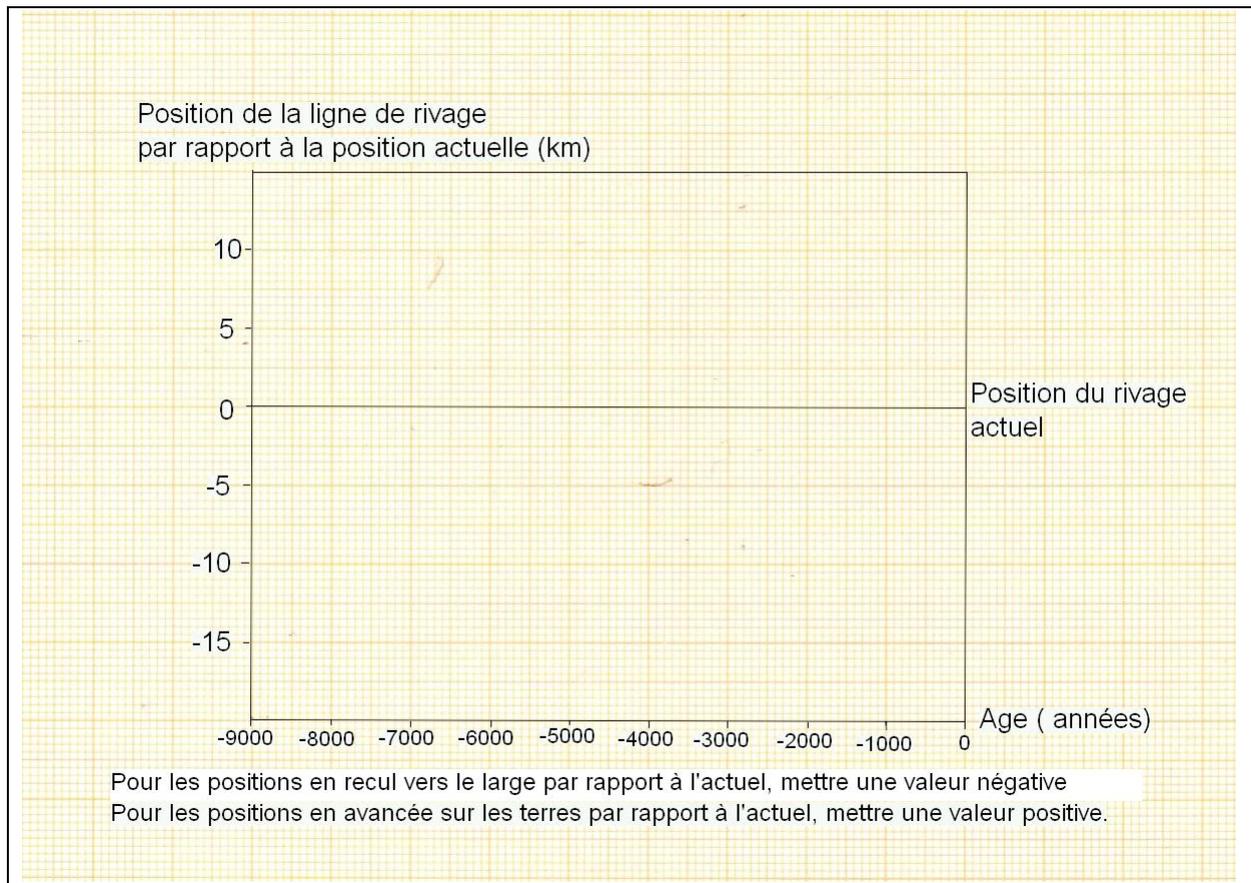


Position du rivage dans la baie du Mont Saint-Michel au cours des 9000 dernières années. D'après *La baie du Mt St Michel, Revue du Palais de la Découverte N°94 Janvier 1982*) B.P. signifie *before present* ; avant aujourd'hui. Un trait de coupe AB est matérialisé sur la carte.

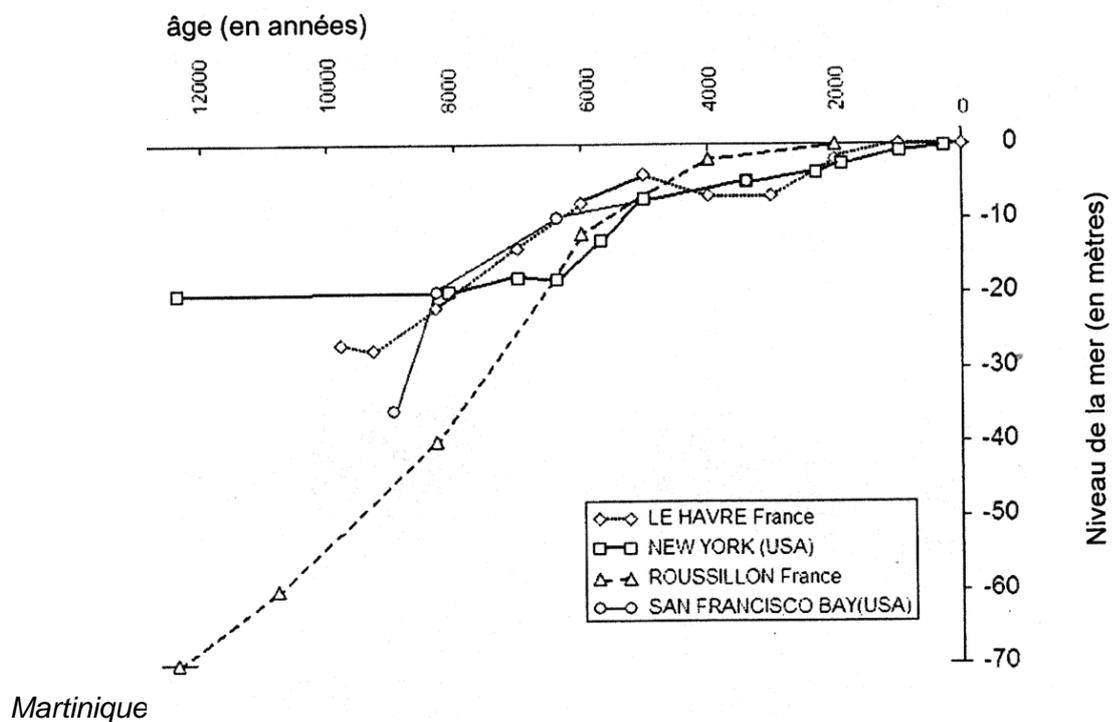


Paysage actuel du domaine maritime et continental. D'après *Google Earth*

Document 3 : Graphique de la position de la ligne de rivage par rapport à l'actuel au cours du temps *A compléter et à rendre avec la copie*



Document 4 : Graphique de la variation du niveau marin en France et aux USA. D'après sujet de baccalauréat S 2007



Document 5 : Décret Napoléonien autorisant la création des polders.

"Napoléon, par la grâce de Dieu et la volonté nationale, Empereur des Français, à tous présents et à venir,

Salut.

Sur le rapport de notre Ministre, secrétaire d'état au département des Finances,

Vu la demande de concession...

Vu les pièces constatant l'accomplissement des diverses formalités, Vu l'article 41 de la loi du 16 septembre 1807,

considérant qu'il importe, dans l'intérêt de la fortune publique, d'encourager le dessèchement et la mise en valeur des lais et relais de la mer,

avons décrété et décrétons ce qui suit :

Article premier : *il est fait concession aux sieurs Mosselman et Donon, moyennant les sommes de trois cent soixante-dix-sept-mille huit cent soixante et dix huit francs (377878 F) et aux conditions du cahier des charges annexé au présent décret, des lais et relais de la mer dans les baies des Veys et du Mont-Saint-Michel, département du Calvados, de Manche et d'Ille-et-Vilaine, désignés dans ce cahier des charges.*

Article deuxième : *Notre ministre secrétaire d'état au département de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics, et notre ministre secrétaire d'état au département des Finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.*

Fait à Plombières, le 21 juillet 1856

"NAPOLEON"

Document 6 : Lexique

Erosion : Ensemble des phénomènes qui à la surface des sols ou à faible profondeur enlèvent tout ou partie des terrains existants

Flot : Courant de marée portant la direction de la marée montante. Dans la baie du Mont Saint-Michel, il est plus rapide que le jusant.

Granulométrie : Etude de la répartition des éléments d'une roche ou d'un sédiment selon leur taille

Jusant : courant de marée portant la direction de la marée descendante

Lais : terres nouvelles formées par le dépôt de sédiments sur le rivage

Relais de mer : terrains qui émergent lorsque la mer les abandonne

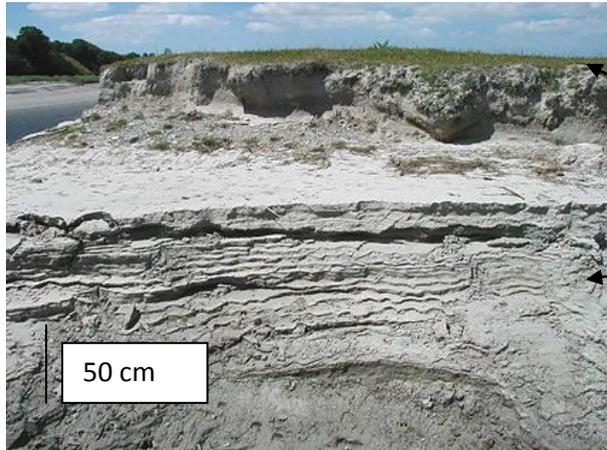
Polders : étendue artificielle de terre dont le niveau est inférieur à celui de la mer

Schorre : partie haute d'un marais littoral, formée d'un sédiment consolidé, recouverte de végétation et submergée uniquement lors des grandes marées.

Remarque : L'amplitude des marées n'est pas constante. La marée haute peut submerger plus ou moins de territoires sur le littoral.

Tangue : nom donné au sédiment qui se dépose au gré des marées dans la baie du Mont Saint Michel

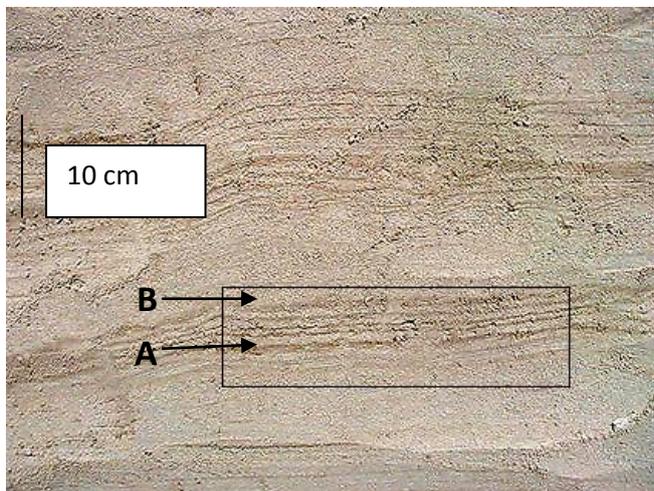
Document 7 : Caractéristiques sédimentaires de la tangue



Document 7.1 : photographie du schorre (Société géologique et minéralogique de Bretagne)

schorre

tangue

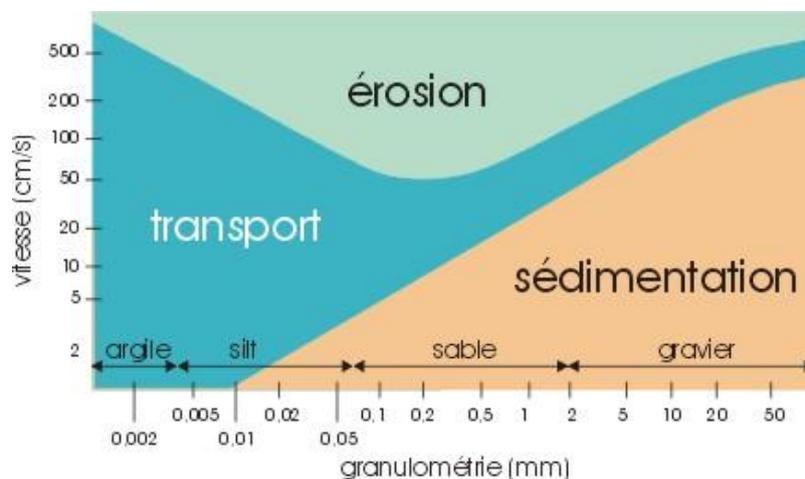


Document 7.2 : vue de détail de la tangue (d'après la société géologique et minéralogique de Bretagne)

Sédiment A sombre = avec une majorité de particules comprises entre 0,02 et 0,05 mm part

Sédiment B clair = avec une majorité de grains compris entre 0,1 et 0,2 mm

Document 7.3 : Diagramme plaçant les limites entre sédimentation, transport et érosion en fonction de la vitesse du courant et de la granulométrie du matériau.
D'après Hjüstrom



Document 8 : Les travaux dans la baie du Mont Saint Michel

Les aménagements en cours de réalisation ont pour but d'enrayer le phénomène d'ensablement. Pour cela un nouveau barrage a été construit en lieu et place du barrage de la caserne. Les vannes de ce barrage permettent de retenir une partie de l'eau amenée par la marée haute et l'eau du Couesnon. Après chaque marée haute, le barrage lâche l'eau en partie basse. Le courant qui est créé atteint actuellement une vitesse de 1 mètre par seconde. On parle d'effet de chasse.

Les travaux continuent avec le curage du Couesnon. Ils permettront de créer un courant de chasse au niveau du barrage de 2 mètres par seconde.



Image de synthèse du barrage du Mont Saint-Michel. *D'après Projet Mont Saint-Michel*

Questions

- 1) Compléter le graphique du document 3 pour y faire figurer la position du rivage en fonction du temps.
En déduire la relation existant entre la position du rivage et la variation du niveau de la mer au cours du temps.
Le document 3 est à rendre avec la copie.
- 2) A partir des documents 3 et 4 montrer que le Mont Saint Michel présente une particularité régionale pour la variation du niveau des mers.
- 3) Indiquer une technique permettant de répondre à la demande de Napoléon (documents 1, 5 et 6) et la conséquence prévisible sur la sédimentation autour du Mont Saint Michel.
- 4) Les sédiments A et B sont déposés par la marée. En utilisant les documents 6 et 7, associer les deux dépôts aux deux types de courants (flot et jusant) et déterminer leur vitesse. Expliquer le mécanisme de formation de la tange.
- 5) Choisir en justifiant votre réponse laquelle de ces affirmations correspond le mieux à l'histoire du Mont Saint Michel :
Affirmation 1 : L'Homme a provoqué l'ensablement de la baie du Mont Saint-Michel.
Affirmation 2 : L'Homme a accéléré l'ensablement naturel de la baie du Mont Saint-Michel.
Affirmation 3 : L'ensablement de cette baie est un phénomène naturel et les interventions humaines n'ont eu aucune influence.
- 6) Expliquer comment les travaux entrepris peuvent contribuer à limiter l'ensablement du Mont, voire à le désensabler.

Exercice 4 : la force marémotrice, une alternative énergétique ?

Les énergies marines constituent une source d'électricité sûre et inépuisable, susceptible de contribuer à répondre aux besoins grandissants en énergie des populations et aux engagements internationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

On se propose de comprendre :

- comment produire de l'énergie à partir des marées ;
- comment expliquer que l'on considère actuellement cette source d'énergie inépuisable et sûre en termes de risques technologiques et climatiques.

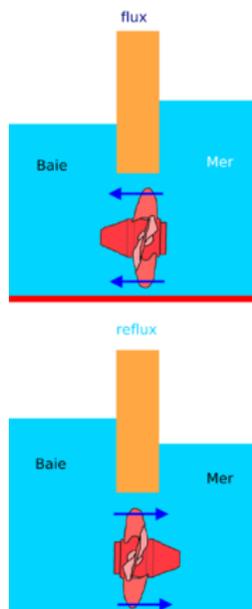
Document 1 : D'une utilisation artisanale de la force marémotrice à l'usine marémotrice de la Rance

Depuis le XII^{ème} siècle, la marée est exploitée comme source d'énergie : des moulins à marée tournaient dans l'estuaire de la Rance, non loin du Mont Saint Michel. Fermées par de petits barrages, des criques étaient remplies lorsque la marée montait. A marée basse, on libérait l'eau retenue pour actionner les roues à aubes des moulins. Aujourd'hui, au même endroit, on exploite l'énergie des marées dans une usine marémotrice.



L'énergie des marées est exploitée depuis longtemps en France. Ici, l'ancien moulin du Birirot sur l'île de Bréhat en Bretagne Nord.

Sur la Rance, un barrage ferme l'estuaire : l'eau qui le traverse lors du flux et reflux des marées actionne 24 groupes générateurs de 10 mégawatts. L'électricité produite équivaut à la production d'une centrale thermique qui consommerait 100 tonnes de charbon à l'heure (250 mégawatts). Elle constituait en 2005 un peu moins de 60 % de la production électrique de la Bretagne, région qui ne produit que 5 % de l'électricité qu'elle consomme, le reste est importé des régions voisines et est principalement d'origine nucléaire. L'action corrosive de l'eau de mer nécessite un entretien, voire un renouvellement des turbines.



Vue aérienne de l'usine marée motrice de la Rance.

<http://membres.lycos.fr/alexis779/exploitation.htm>

D'après « Les forces de la marée », Pour la Science, mai 2002.

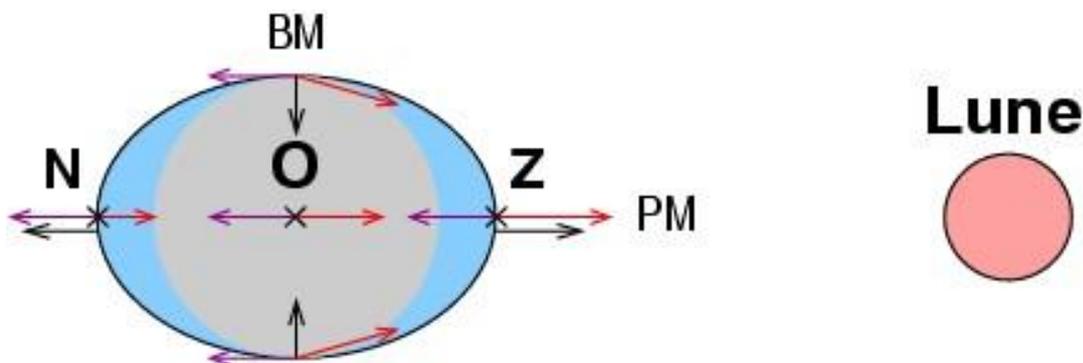
Document 2 : L'origine des marées

Lorsque Newton découvre la loi universelle de la gravitation, il comprend que si la pomme tombe de l'arbre alors que la Lune ne tombe pas sur la Terre, bien que toutes deux soient attirées par la Terre, c'est parce que la Lune, tournant autour de la Terre, est soumise à une force centrifuge qui tend à la repousser. Il s'agit de la même force centrifuge que celle qui vous projette à l'extérieur d'un manège en rotation.

De la même manière, la Terre est à la fois attirée vers la Lune et repoussée. Les océans sont donc soumis à deux forces opposées :

- l'attraction gravitationnelle exercée par la Lune ;
- la force centrifuge due à la rotation de la Terre sur elle-même.

L'intensité de la force centrifuge est constante sur la Terre, tandis que l'intensité de l'attraction gravitationnelle exercée par la Lune est variable, car son intensité dépend de la distance Terre - Lune : plus elle est faible, plus l'attraction est forte.



La résultante des deux forces (figurée en noir) dépend donc de la position sur la Terre, elle est :

- nulle au centre de la Terre (point O) ;
- dirigée vers la Lune au zénith (point Z) ;
- dirigée à l'opposé de la Lune au nadir (point N) ;
- dirigée plus ou moins vers le centre de la Terre pour les points situés perpendiculairement à l'axe ZN.

Lorsque la force résultante est dirigée vers le centre de la Terre, la surface des océans a tendance à baisser créant une basse-mer (BM) et, à l'inverse, lorsque la force est dirigée vers le ciel (au zénith et au nadir) la surface des océans a tendance à monter créant une pleine-mer (PM).

L'effet de la force génératrice peut être schématisé par un bourrelet (en bleu clair sur la figure) représentant la forme que prend la surface des océans.

D'après <http://www.ifremer.fr/lpo/cours/maree/forces.html>

Document 3 : L'énergie des marées

Les marées océaniques déplacent les océans de plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres dans le cas des baies ou estuaires. Ces déplacements créent des frottements sur les fonds marins, ce qui conduit à une dissipation d'énergie sous forme de chaleur.

Cette dissipation d'énergie diminue l'énergie de rotation de la Terre, telle que la longueur du jour diminue de 0,002 seconde par siècle. Ce ralentissement est important sur de longues périodes : on estime, qu'il y a 350 millions d'années, le jour durait 22 heures et l'année 400 jours, et, dans un futur lointain (plusieurs milliards d'années), que le mois et le jour seront égaux à environ 50 de nos jours actuels ! Les journées seront longues ... et les nuits aussi !

D'après *Sciences de la Terre et de l'Univers, Brahic & Coll., 1999*

Les usines marémotrices ne font qu'augmenter un peu le freinage de la rotation terrestre. En effet, elles utilisent *in fine* l'énergie cinétique de rotation de la Terre, matérialisant d'une façon nouvelle un vieux rêve exprimé par de Pawlowski et d'Allais qui était d' « *installer une roue dentée sur l'équateur pour récupérer le mouvement de rotation terrestre* ».

Les effets climatiques éventuels d'une baisse - même légère - de la vitesse de rotation de la Terre ne semblent pas à ce jour avoir été étudiés. Qualitativement, on sait qu'un ralentissement significatif :

- *diminuerait* la vitesse du cycle thermique terrestre (périodes diurne et nocturnes plus longues) ;
- *augmenterait* les écarts de température entre les jours et les nuits, avec pour conséquence une augmentation des mouvements atmosphériques (tempêtes...).

On peut toutefois observer qu'il s'agit de capter une énergie qui se dissipe actuellement complètement par frottement dans l'océan, essentiellement au voisinage des côtes.

D'après l'article « Energie marémotrice », Wikipédia.

Questions :

- 1. Indiquer l'origine de l'énergie des marées.**
- 2. Discuter l'intérêt économique et les limites de l'exploitation de cette énergie dans la région de Bretagne.**
- 3. Exploiter les informations fournies par les documents pour indiquer si l'exploitation de la force marémotrice induit des modifications climatiques.**
- 4. Montrer que le risque climatique engendré par l'exploitation intensive de la force marémotrice pour produire de l'électricité est très négligeable par rapport à celui engendré par les centrales à charbon.**