

SESSION 2010

OLYMPIADES ACADEMIQUES DE GEOSCIENCES

ACADEMIES DE
BORDEAUX, LIMOGES,
ORLEANS-TOURS
POITIERS, TOULOUSE,
VERSAILLES

Durée de l'épreuve : 4h.

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

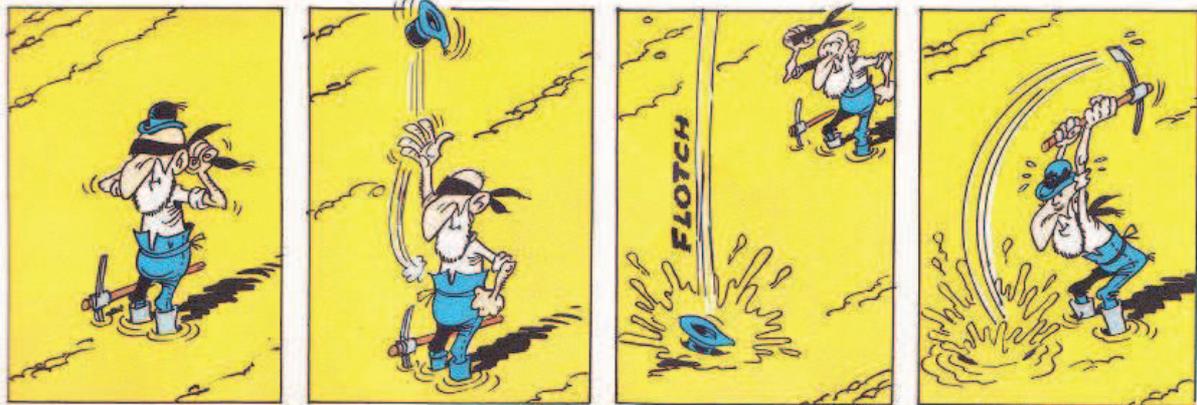
Il comporte de nombreux documents, mais leur exploitation et les réponses attendues sont courtes.

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.

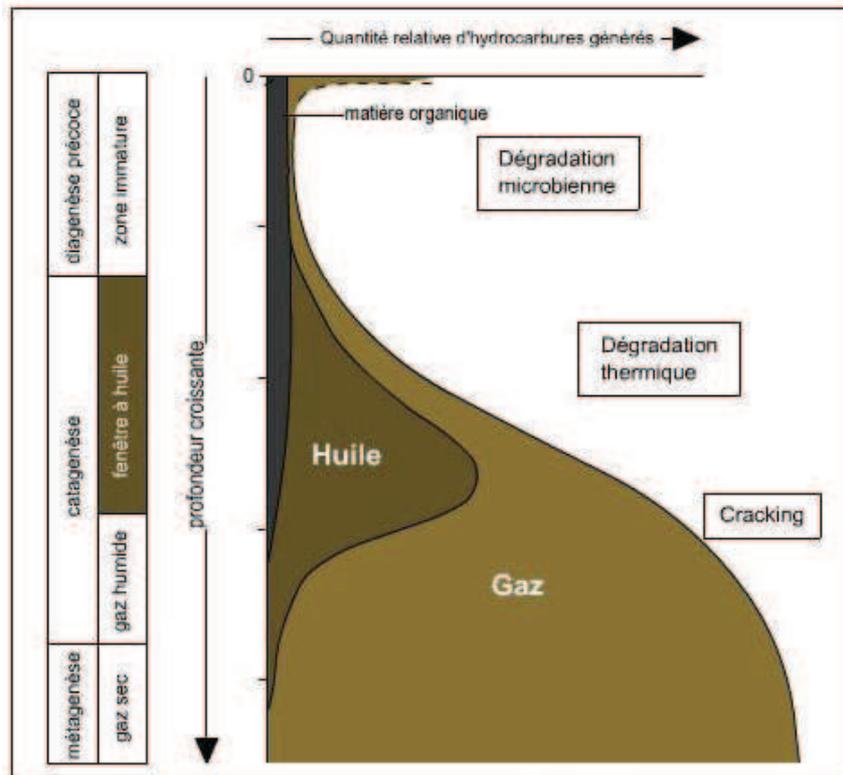
A FORMATION DU PETROLE A PARTIR D'UNE ROCHE MERE PLANCTONIQUE

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.

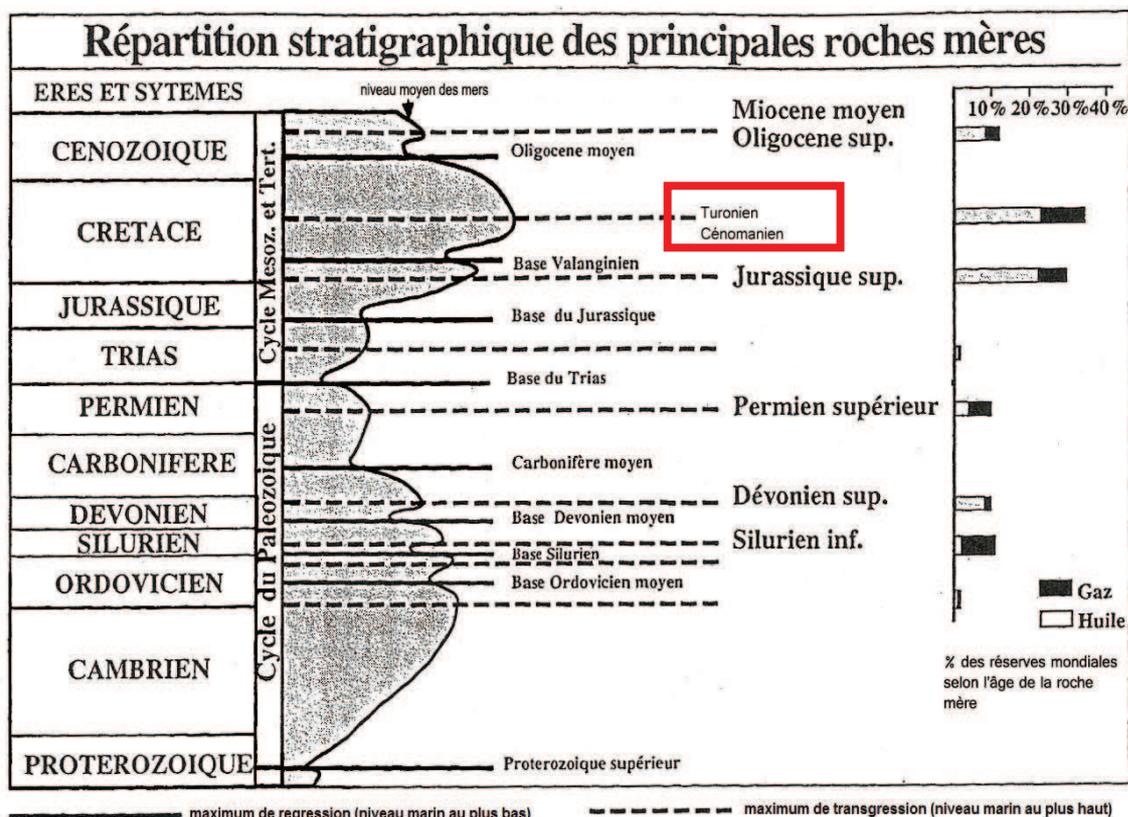
On estime qu'il se dépose en moyenne 50 m de sédiments par million d'années. La température croît au cours de l'enfoncement en moyenne de 3°C tous les 100 m. Cet enfouissement conduit, d'une part à une transformation progressive des sédiments en roches et, d'autre part, à la dégradation thermique des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

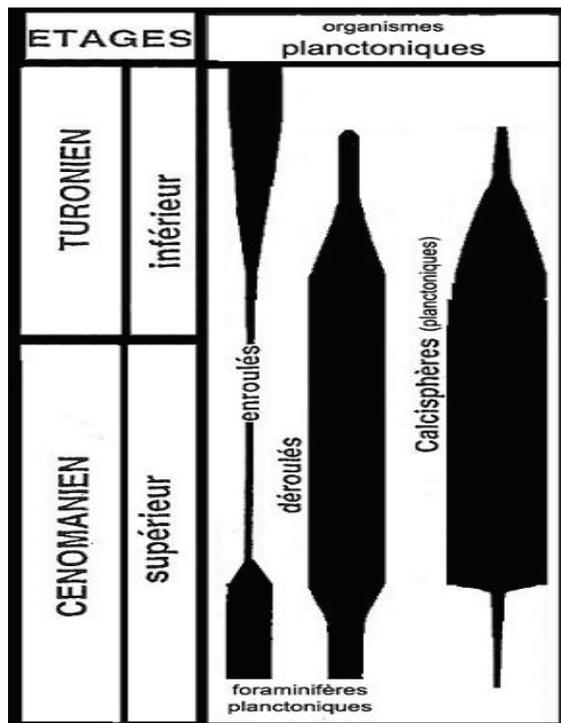
Doc.1a : Les conditions de formation du pétrole



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)

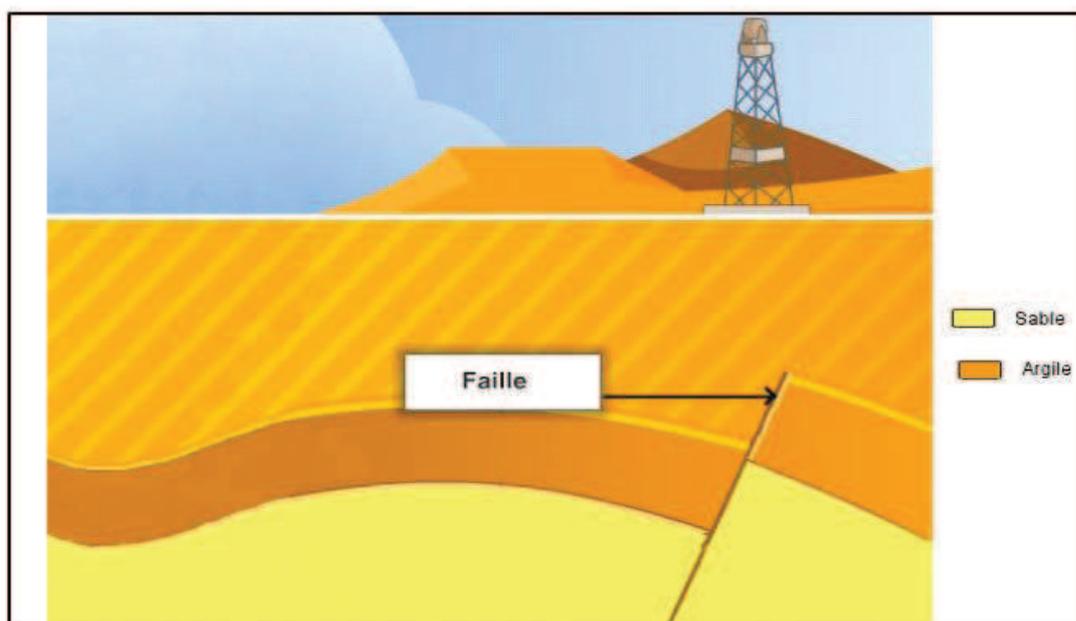


Doc. 2b : Abondance de quelques groupes marins au cours du Cénomanién supérieur et du Turonien inférieur (d'après J. Philip, 1986)

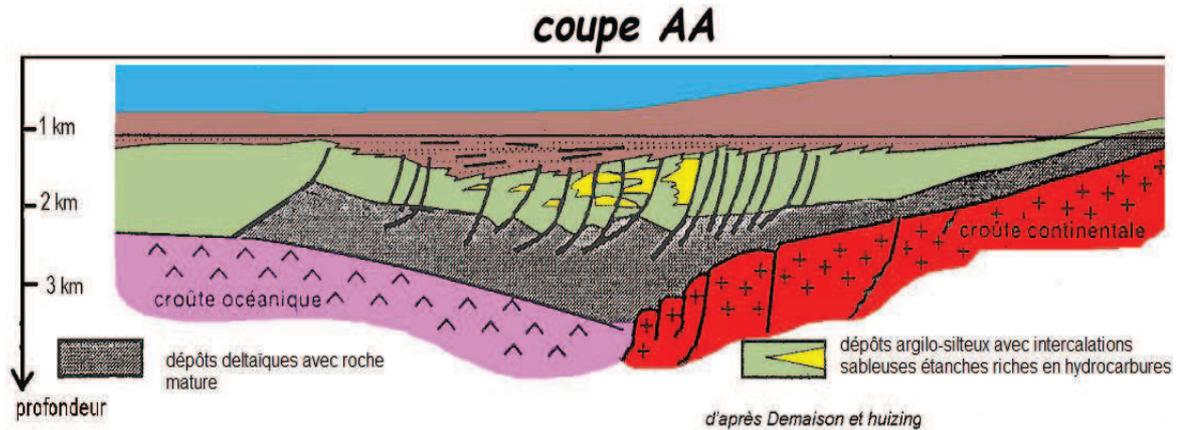
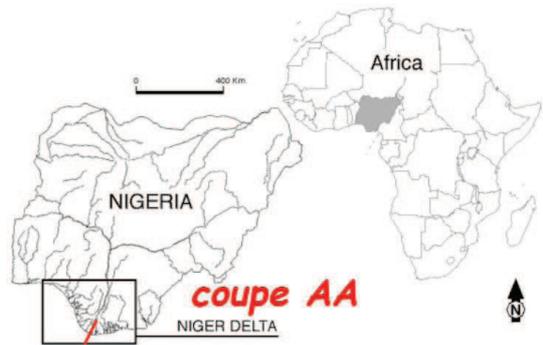
B MIGRATION ET PIEGEAGE DU PETROLE

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.

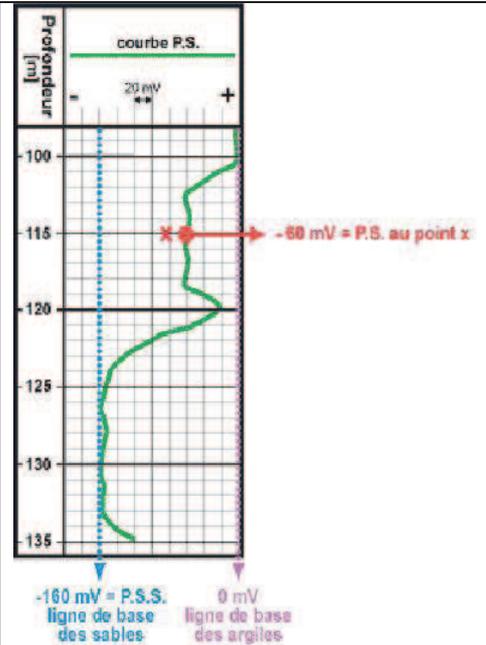
Détermination de la concentration en argile d'une couche :

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

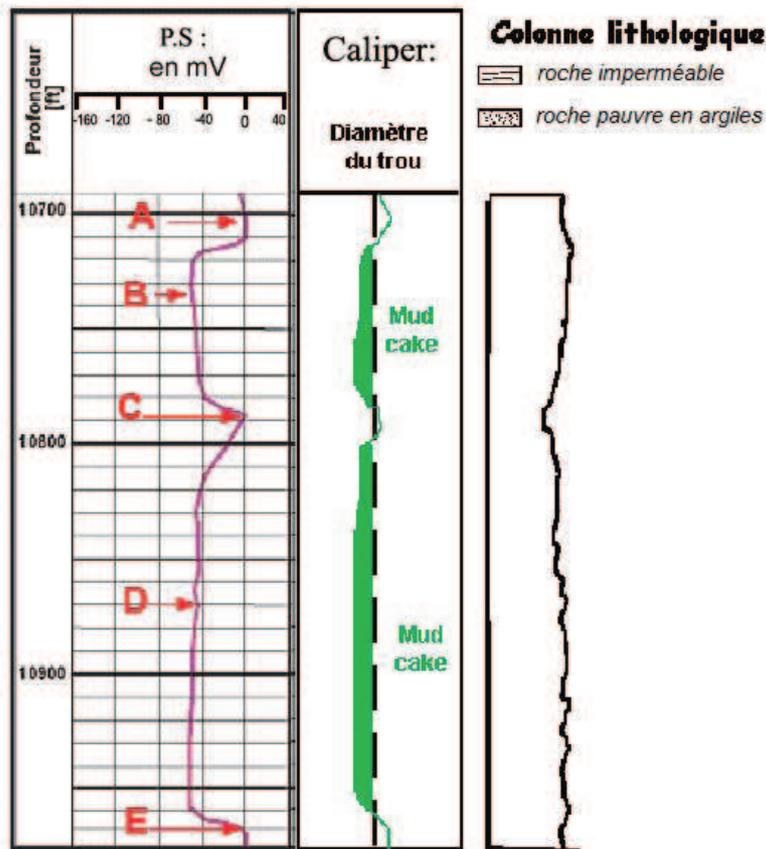
Vsh = volume d'argile [en %]

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

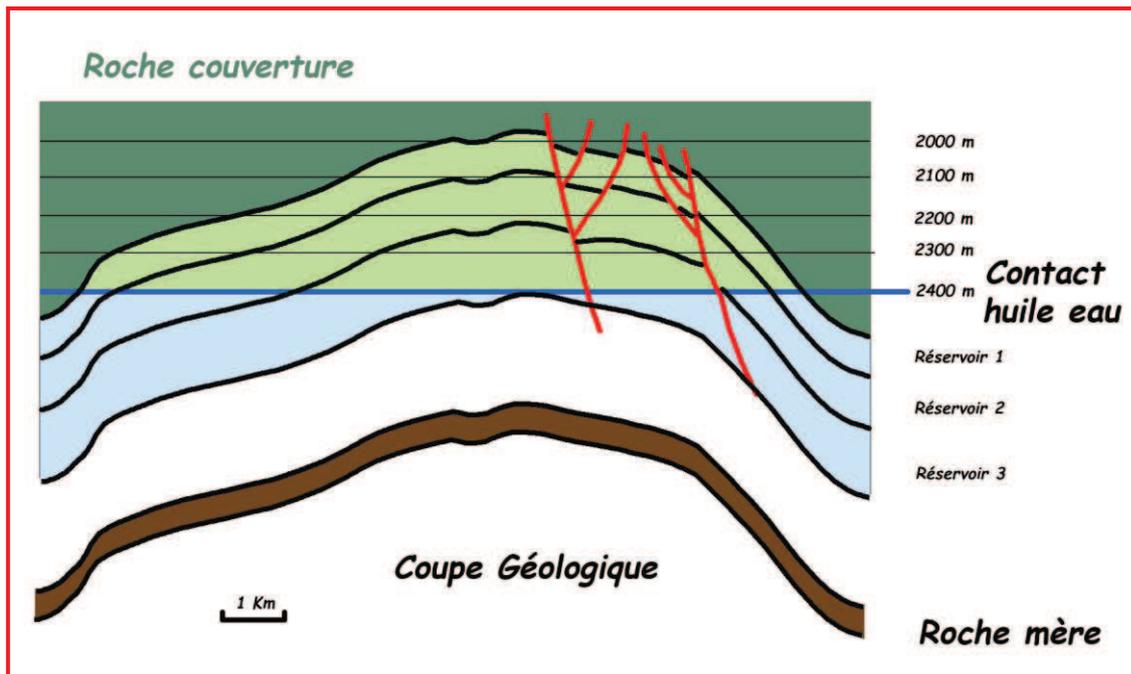


Doc 5c : Etude d'un sous-sol par diagraphie (log P.S. et caliper) et colonne lithologique associée à ce forage.

D- L'EXPLOITATION

On cherche à évaluer combien peut rapporter l'exploitation d'un champ pétrolier. Le pétrole est vendu en barils (un baril = $0,159 \text{ m}^3$) 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.