

Académies des Antilles et de la Guyane et AEFÉ

Durée de l'épreuve : 4h

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

La calculatrice est autorisée.

La page 12 est à rendre avec la copie.

Exercice 1 - « Vingt milliards sous les mers »



Source : JT 20 Heures de France 2 - 10/09/2012

Avec le développement des nouvelles technologies, les demandes mondiales en minéraux tels que le cuivre, le cobalt, le platine ou l'or, ne cessent d'augmenter. Le faible niveau des réserves des gisements terrestres pour certains de ces éléments est aujourd'hui fortement préoccupant. Il est par exemple, estimé à treize ans pour l'argent et moins de cent ans pour le cobalt. En septembre 2009, le Président-Directeur Général de l'Ifremer lance un travail de réflexion prospective sur les ressources minérales marines à l'horizon 2030.

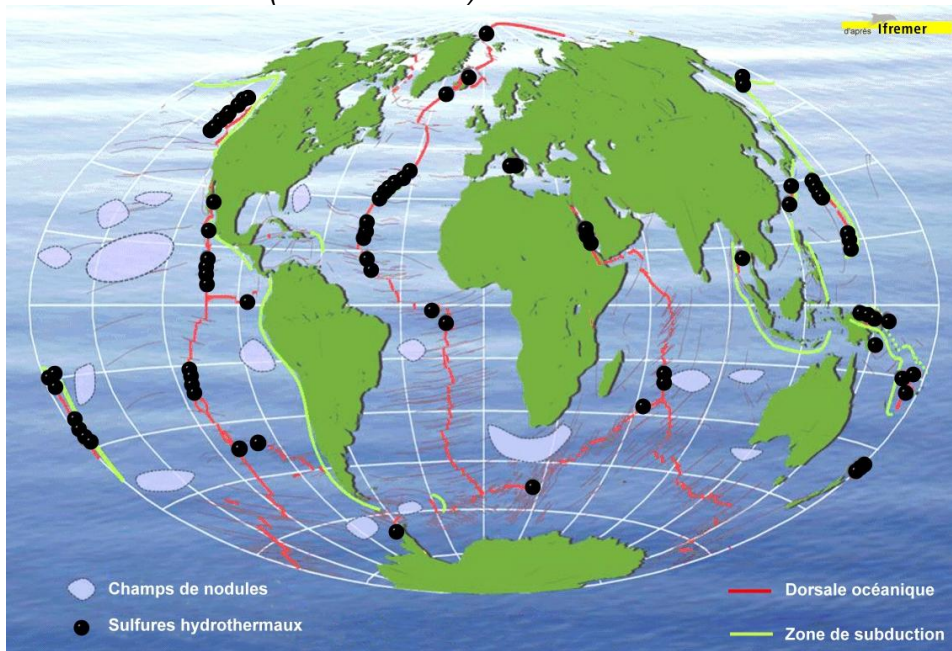
Chercheur à l'IFREMER, vous faites partie d'un groupe de travail chargé de rédiger une synthèse présentant de manière argumentée et dans l'ordre qui vous conviendra :

- la localisation des zones océaniques à explorer pour l'exploitation des différentes ressources minérales sous-marines et l'explication de leur mode de formation ;
- l'intérêt d'exploiter plusieurs types de sites ;
- les avantages et les contraintes de telles exploitations ;
- la part que la France peut prendre dans l'exploitation mondiale des différents types de sites.

Document 1 : les ressources sous-marines (source Ifremer)

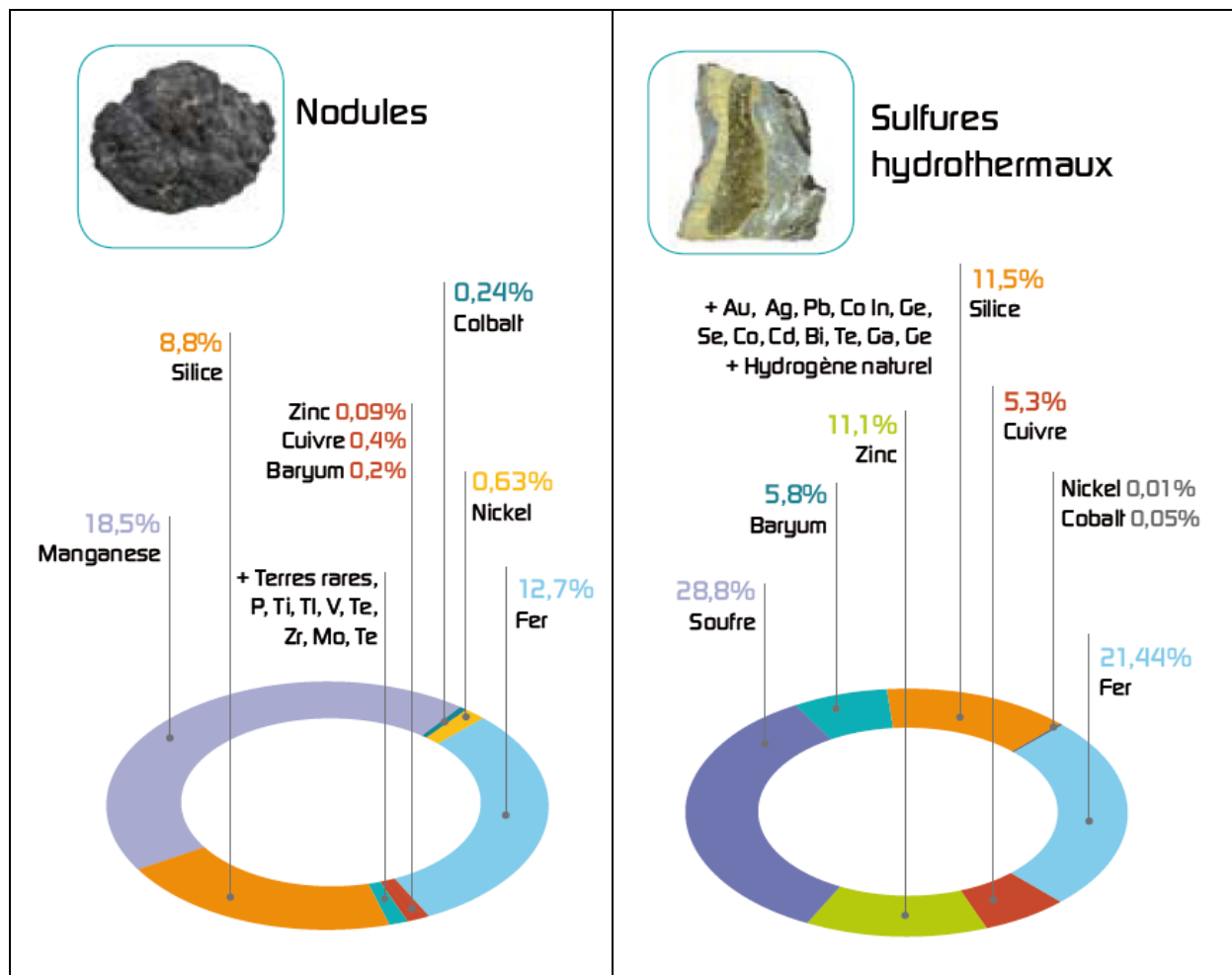
Les explorations scientifiques menées dans les grands fonds depuis une trentaine d'années ont permis d'identifier deux types de sites présentant une concentration en métaux particulièrement intéressante. Ces ressources potentielles sont liées à des processus actifs sous-marins, qui n'ont pas d'équivalent au niveau de la croûte continentale. Les deux types de sites sélectionnés sont : les sulfures hydrothermaux et les nodules polymétalliques.

Document 1a : localisation des sites hydrothermaux et des champs de nodules à l'échelle mondiale (source Ifremer)



d'après <http://wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Sulfures>

Document 1b : composition (en %) en éléments majeurs dans les minéralisations des grands fonds océaniques (source Ifremer)



d'après <http://www.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Sulfures>

Document 2 : les sulfures hydrothermaux (source Ifremer)

La formation des sulfures métalliques hydrothermaux est associée aux sources hydrothermales sous-marines. Au niveau des dorsales océaniques, la présence d'un flux géothermique important et de failles favorise la circulation d'eau et son enrichissement en sulfures métalliques lors de son passage dans la croûte océanique. Ces fluides finissent par remonter en surface au niveau de l'axe d'accrétion et par précipiter avec l'eau de mer pour former des édifices hydrothermaux ayant la forme de cheminées, appelées événements. Ces derniers peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres de haut et quelques centaines de mètres de diamètre. Ces amas de sulfures peuvent atteindre des dizaines de millions de tonnes. Les volumes, tonnages et concentrations en éléments valorisables de tels dépôts sont identiques à ceux de nombreuses mines exploitées à terre.

Les techniques d'études par dragage et par submersible permettent principalement de prélever des échantillons à la surface des édifices. Seuls des forages permettent de déterminer la variation de leur composition selon leur épaisseur. Les échantillons déjà analysés montrent que la surface de la plupart des dépôts est significativement enrichie en cuivre et zinc. Dans la très grande majorité des cas, il s'agit de minerais massifs dont l'exploitation ne générerait a priori que peu de déchets. Par ailleurs, cela ne nécessiterait pas le creusement de galeries comme c'est le cas à terre. Enfin, les infrastructures sur les navires sont facilement déplaçables.

Les technologies d'exploration permettent uniquement de localiser les événements encore en activité, à la différence de ceux inactifs qui restent à rechercher de manière plus systématique et ne peuvent, dans l'état actuel des technologies, être localisés que par des opérations près du fond.



Événements hydrothermaux actifs dans le bassin de Lau (îles Tonga, Sud-Ouest Pacifique).

wwz.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Sulfures

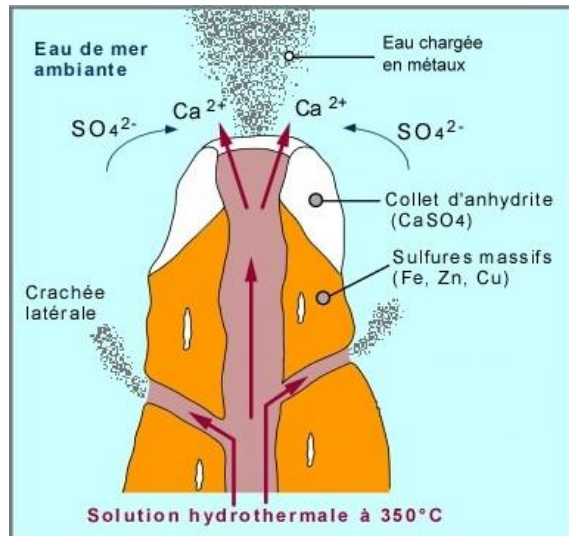
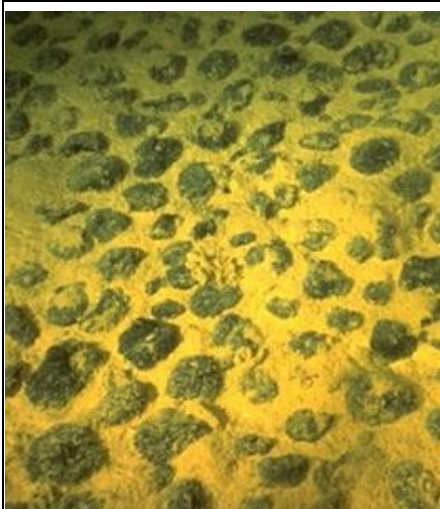


Schéma du fonctionnement d'un événement hydrothermal actif

<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/deposits.oceans.html>

Document 3 : les nodules polymétalliques



D'après « Le submersible habité, le Nautilus » http://wwz.ifremer.fr/drogm_uk/Realisation/Miner/Nod/texte/txt10.html

Les nodules polymétalliques peuvent être très petits et visibles seulement au microscope ou former de très grosses masses sphériques de plus de 20 cm. Toutefois, la plupart mesurent entre 5 et 10 cm de diamètre et ont à peu près la grosseur d'une pomme de terre.

Les nodules reposent sur les sédiments océaniques, le plus souvent à demi enterrés. Leur abondance est extrêmement variable. Dans certaines zones, ils peuvent couvrir plus de 70% de la surface et sont alors contigus. On estime toutefois que, pour présenter un intérêt économique, leur abondance doit être supérieure à 10 kg/m², elle est en moyenne de 15 kg/m² dans les zones, appelées champs de nodules, s'étendant sur plusieurs dizaines de kilomètres carrés. On en trouve à toutes les profondeurs, les plus fortes concentrations ont été cependant repérées dans des champs situés au niveau des plaines abyssales, entre 4000 et 6000 m de profondeur.

D'après « Nodules polymétalliques »

http://www.isa.org.jm/files/documents/FR/Brochures/7_FRE.PDF

Coupe d'un nodule :

la structure interne est formée de zones concentriques d'oxydes métalliques.



<http://wwz.ifremer.fr/drogm/Presentation-GM/Direction>

De nombreux éléments chimiques participent à leur formation, en particulier le fer et le manganèse. Mais seulement quatre de ces éléments sont considérés comme des métaux économiquement intéressants : le manganèse, le nickel, le cuivre et le cobalt.

La formation des nodules n'a pas encore été élucidée. L'hypothèse privilégiée est que les nodules seraient dus à des précipitations chimiques et biochimiques sous l'action de bactéries responsables de la concentration de particules d'oxydes métalliques pour former les couches concentriques autour d'un noyau.

La croissance des nodules est considérée comme l'un des phénomènes géologiques les plus lents. La durée moyenne de formation d'un nodule est estimée à quelques mm/Ma.

http://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-applications/Ressources

Document 4 : de la vie autour de ces ressources

Les premières sources hydrothermales ont été découvertes en 1977, au cours d'une plongée au niveau de la dorsale océanique du Pacifique Est, près des Galápagos, à plus de 2 500 m de profondeur. Là où on imaginait trouver un paysage désertique, apparaît une faune inconnue et luxuriante qui se développe dans l'obscurité, autour de cheminées verticales crachant un fluide à une température de plus de 350 °C. La préservation de ces écosystèmes uniques est impérative.

<http://wwz.ifremer.fr/institut/Decouvrir-les-oceans/Se-documenter/Sciences-de-la-Vie-de-la-Terre/La-vie-autour-des-sources-hydrothermales>



Ifremer / Phare 2002

Riftia pachyptila : espèce de vers observés à proximité d'une source hydrothermale et mesurant jusqu'à 2 m de long.

« Les scientifiques estiment que 10 millions d'espèces animales environ peuplent les fonds marins soit huit fois plus que les espèces terrestres. A ce jour, seul 1% a pu être étudié. Les chercheurs redoutent que de nombreux animaux soient déjà menacés d'extinction avant même d'avoir été découverts. »

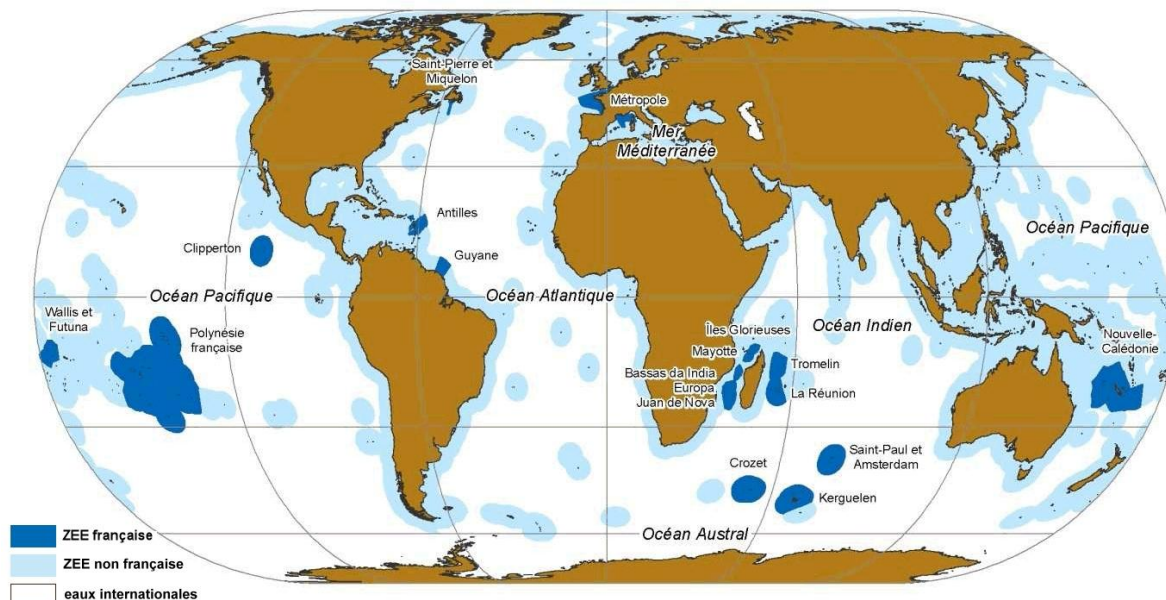
Source : « Les fonds marins, nouvel eldorado » Arte – 21/01/2010

Document 5 : la zone économique exclusive (ZEE) française

D'après le droit de la mer, une zone économique exclusive (ZEE) est un espace maritime sur lequel un état côtier exerce des droits souverains en matière d'exploration et d'usage des ressources. Elle s'étend à partir de la limite extérieure de la mer territoriale de l'état jusqu'à 200 milles marins (environ 370 km) de ses côtes au maximum.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Zone_%C3%A9conomique_exclusive

Répartition des eaux sous juridiction française sur le globe



http://www.senat.fr/rap/r11-674/r11-674_mono.html

La France dispose de la deuxième zone économique exclusive (ZEE) derrière les Etats-Unis avec 11 millions de km², dont 90 % dans les départements et collectivités d'outre-mer (Dom-Com). C'est peut-être des fonds des océans que la France va devenir une grande puissance minière, dans les dix à vingt prochaines années. Déjà à Wallis-et-Futuna, perdue dans l'océan Pacifique, entre Tahiti et la Nouvelle-Calédonie, trois campagnes d'exploration menées en partenariat public-privé (Ifremer, Technip et Eramet) en 2010, 2011 et 2012 se sont révélées prometteuses. La France a déposé des permis d'exploitation dans le Pacifique. Elle est également très intéressée par les nodules cobaltifères comprenant cobalt, nickel, platine et manganèse, et dont les plus riches dans la ZEE française sont localisées en Polynésie. Mais la France n'est pas la seule à convoiter ces richesses sous-marines. Il existe un engouement très fort pour la recherche et l'exploration des océans de la part de certains pays, dont la Chine, mais aussi la Corée, la Russie, le Japon, l'Inde et le Brésil. La course vers ces métaux recouvre des enjeux économiques et géopolitiques majeurs. C'est un enjeu très important pour le positionnement international des équipes scientifiques et des groupes miniers français, qui comportent des enjeux juridiques derrière les demandes de permis dans les zones économiques ou dans les eaux internationales. C'est ce que confirmait le chef d'état-major de la marine, l'amiral Bernard Rogel : « c'est une richesse qu'il nous faut exploiter mais aussi protéger car on ne peut plus aujourd'hui se désintéresser de ce potentiel immense ».

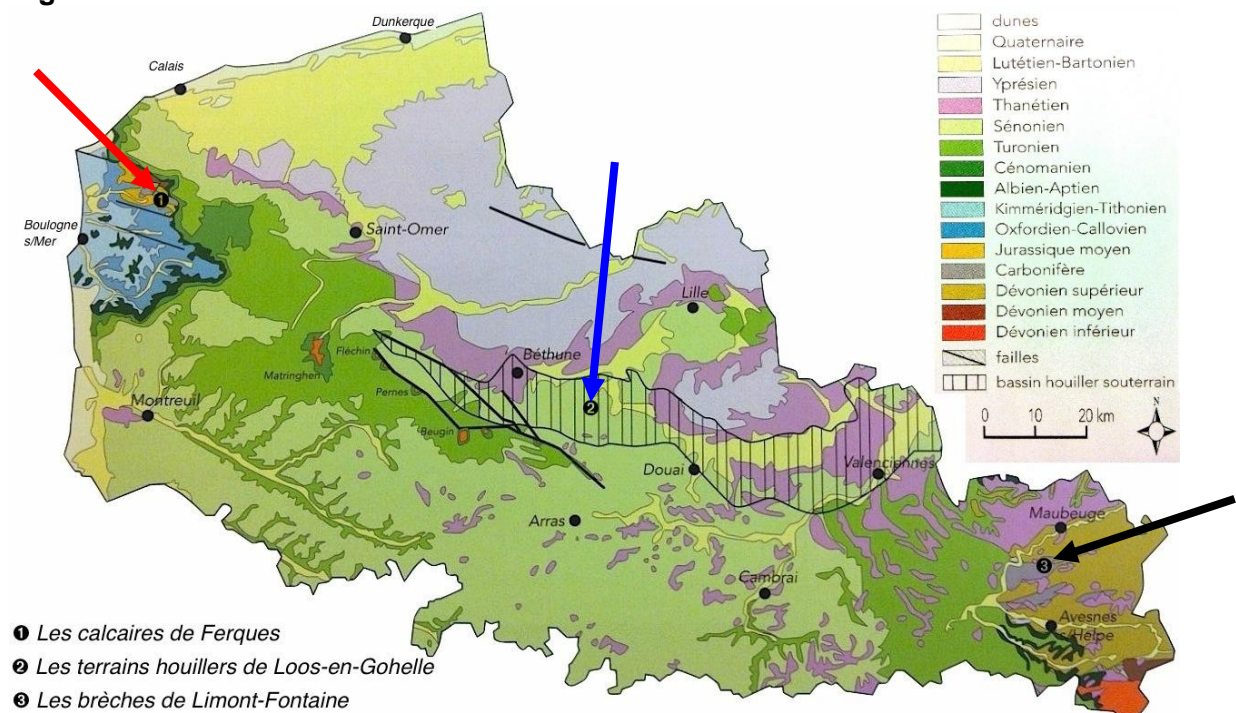
D'après <http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/20120904trib000717773/france-et-si-la-croissance-dormait-au-fonds-des-océans-.html>

Exercice 2 - Paysages et climat dans la région Nord – Pas de Calais au Carbonifère

Les roches sédimentaires archivent les traces des paysages et climats des époques de leur formation. Dans la région Nord-Pas de Calais, on étudie des roches sédimentaires dont l'âge est compris entre -360 et -300 millions d'années (Carbonifère). Le Carbonifère est divisé en 2 périodes : le Mississippien (-360 à -320 millions d'années) et le Pennsylvanien (-320 à -300 millions d'années).

À partir de l'étude des documents fournis, reconstituer les paysages et le climat de l'époque Carbonifère dans cette région.

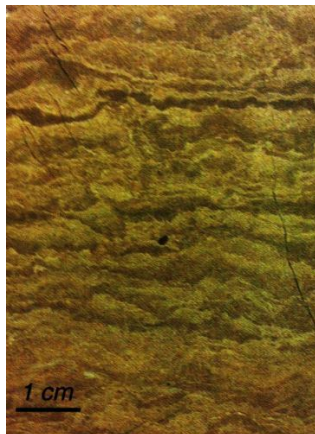
Document 1 : localisation des sites étudiés sur la carte géologique simplifiée de la région Nord - Pas-de-Calais



- ❶ Les calcaires de Ferques
- ❷ Les terrains houillers de Loos-en-Gohelle
- ❸ Les brèches de Limont-Fontaine

D'après : Des roches aux paysages dans le Nord – Pas-de-Calais, SGN-CSNNPC, 2010

Document 2 : les calcaires de Ferques [affleurement 1 (flèche rouge) sur la carte]



Calcaire à lamines de stromatolithes

Au cœur du Boulonnais, affleurent des calcaires à lamines de stromatolithes datant de - 325 Millions d'années.

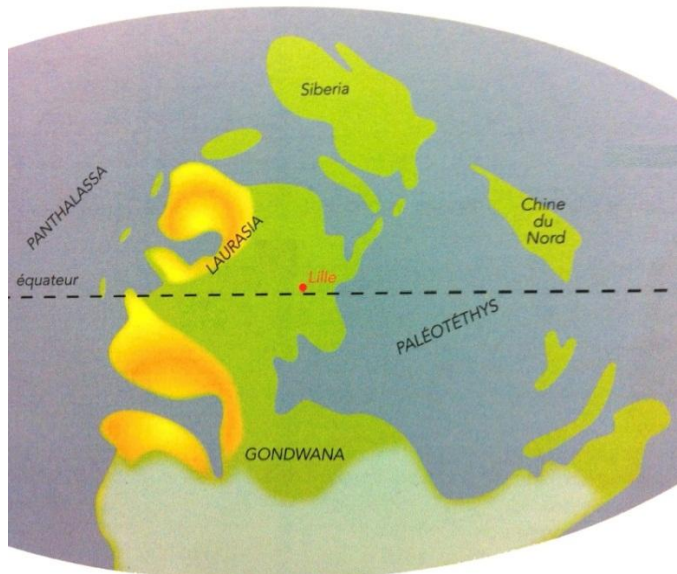
Les stromatolithes de ces calcaires, sont des constructions fossiles formées par des colonies de micro-organismes (bactéries).

Des tapis de cyanobactéries se sont développés piégeant des grains de sable, des particules argileuses, et parfois des débris de coquilles, le tout se déposant par gravité dans le fond marin. Une fois couvert de sédiments et compacté, un tapis bactérien forme une « lamine » dont l'épaisseur est voisine du millimètre.

La répétition du processus explique l'empilement des lamines.

D'après : Des roches aux paysages dans le Nord – Pas-de-Calais, SGN-CSNNPC, 2010

Document 3 : position des continents et des océans entre – 320 et – 300 millions d'années (Pennsylvanien)



Les continents Laurasia et Gondwana sont entrés en collision. Une calotte glaciaire couvrait une grande partie de l'hémisphère sud. Les chaînes de montagnes sont en orangé, les autres aires continentales en vert, les mers et océans en bleu.

D'après : Des roches aux paysages dans le Nord – Pas-de-Calais, SGN-CSNNPC, 2010

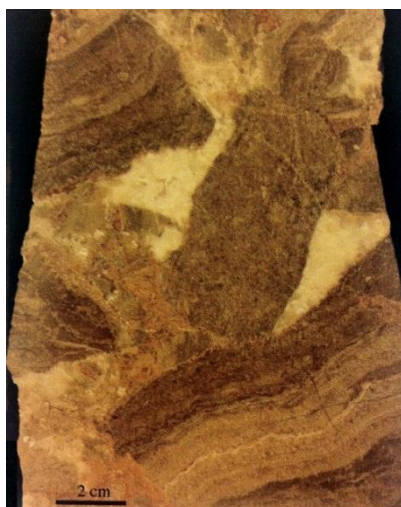
Document 4 : les terrains houillers de Loos-en-Gohelle [emplacement 2 (flèche bleue) sur la carte]

Découvert au début du XVIII^e siècle, le bassin houiller du nord de la France a été exploité pendant plus de deux siècles. Des fossiles végétaux vieux de - 310 Ma ont été retrouvés dans les terrains houillers, enfouis à plus ou moins grande profondeur.

La flore houillère est constituée de végétaux arborescents de 20 à 30 m de haut.

*D'après : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/chap3/deFranceschi.html>
Découverte géologique du Nord de la France, BRGM Éditions, 1987*

Document 5 : brèches de Limont-Fontaine [emplacement 3 (flèche noire) sur la carte]



section polie d'une brèche de Limont-Fontaine

La carrière de Limont-Fontaine révèle à l'affleurement des couches datées de - 335 Ma comprenant des blocs rocheux de forme anguleuse et de taille très variable (millimétrique à pluridécimétrique) cimentés par de la calcite blanche. Les géologues appellent ce type de roche une **brèche**. Y sont particulièrement bien visibles des blocs calcaires montrant fréquemment des lamines onduleuses de type stromatolithe.

Les géologues pensent que, périodiquement, le milieu de sédimentation était hors de l'eau permettant l'évaporation de saumures marines conduisant à la précipitation de niveaux de sels et de gypse au-dessus des stromatolithes.

Par la suite, l'enfouissement a provoqué la dissolution progressive des sels et du gypse conduisant à l'effondrement et la fracturation des couches calcaires environnantes.

D'après : Des roches aux paysages dans le Nord – Pas-de-Calais, SGN-CSNNPC, 2010

Document 6 : des observations actuelles

		
<p>Des structures récifales similaires aux stromatolithes se construisent actuellement sur le littoral marin de quelques points du globe, tous caractérisés par des eaux chaudes (27 à 35 °C)</p>	<p>Sous un climat chaud, les précipitations peuvent ne pas compenser une évaporation intense. Dans les lagunes peu profondes, les sels précipitent en formant des roches appelées évaporites. Le gypse précipite le premier, suivi du sel gemme et des sels de potassium.</p>	<p>Les forêts équatoriales se trouvent sous un climat très humide, avec des précipitations abondantes toute l'année et une température à peu près stable de 24 à 28°C. La végétation y est particulièrement luxuriante.</p>

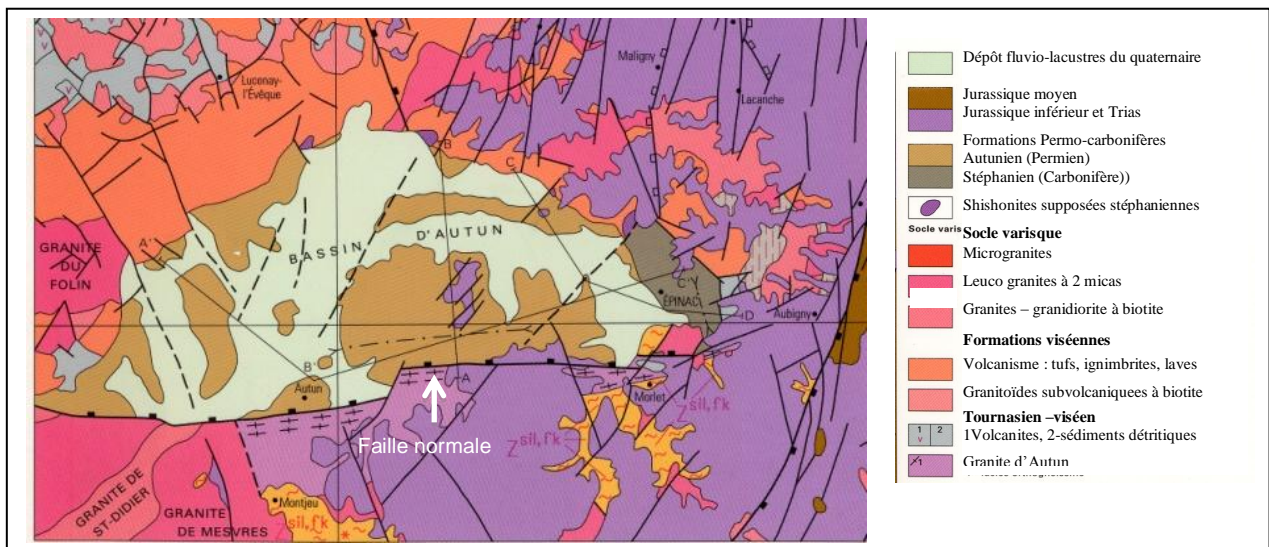
D'après : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-stromatolithes.xml>

Terminale S, enseignement de spécialité, Bordas, 2002

Exercice 3 - Du granite à une ressource fossile non conventionnelle : les schistes bitumineux

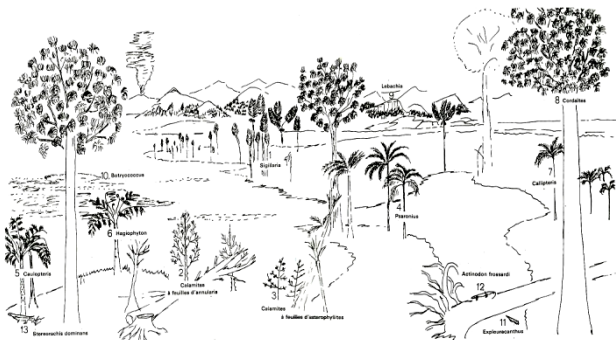
Le bassin d'Autun en Bourgogne (Centre-Est de la France) a été le lieu d'une industrie schistière importante jusque dans les années 50 fournissant une huile de schiste. Cette huile extraite d'une roche sédimentaire détritique est comparable aux produits pétroliers d'aujourd'hui.

Document 1 : localisation et carte géologie simplifiée du bassin d'Autun



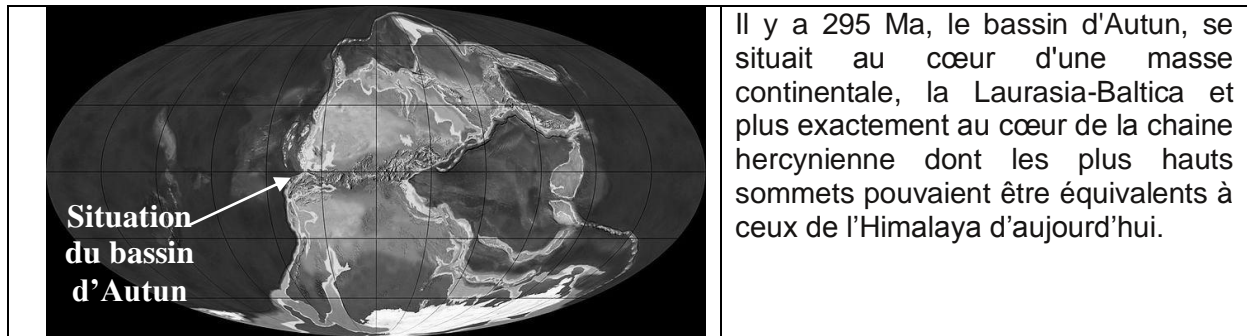
Document 2a : le bassin d'Autun (environ 250 km²) provient d'un lac formé lors de la phase orogénique de la chaîne de montagnes hercynienne au cours du Carbonifère (-350 millions d'années). Par la suite, l'érosion des montagnes environnantes a provoqué le démantèlement des roches en matériaux plus petits qui, transportés par les cours d'eau, se sont accumulés dans le lac. Aujourd'hui le bassin est comblé par les sédiments issus de ces dépôts sur une profondeur de 1200 m. La datation des dépôts indique qu'ils ont eu lieu de - 295 à - 275 millions d'années.

Document 2b : reconstitution du lac d'Autun il y a 295 Ma (d'après G et J Paccaud)

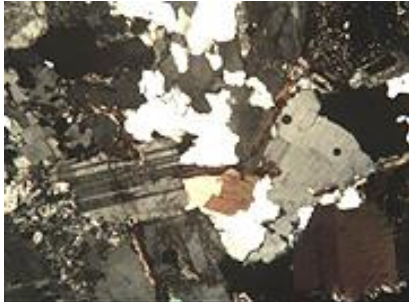
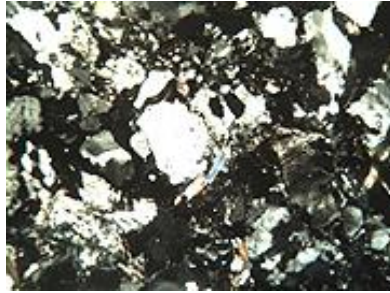
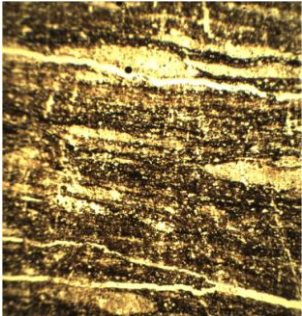


L'étude des fossiles retrouvés dans les schistes bitumineux a permis de reconstituer le paléo-environnement du bassin à l'Autunien. La végétation tropicale était essentiellement constituée de Cordaïtes (végétaux de plus de 15 m de haut), de fougères et de prêles arborescentes, en association avec des végétaux présents dans des zones marécageuses.

Document 3 : position des continents et du bassin d'Autun il y a 295 Ma



Document 4 : lames minces des principales roches du Bassin d'Autun

<p style="text-align: center;">Granite sain</p> <p>Cette roche entièrement cristallisée est constituée principalement de quartz, de feldspaths (plagioclases et orthose) et de micas noir (biotite) et blanc (muscovite).</p> 	<p style="text-align: center;">Grès</p> <p>Le grès est une roche formée de grains de sable. Ces grains se sont déposés en fonction de leur taille (granoclassement) et ont été cimentés par une matrice de silice. Les grains de quartz sont prédominants, les plagioclases et les orthoses sont altérés.</p> 
<p style="text-align: center;">Les schistes bitumineux</p> <p>Ils se sont formés par alternance de dépôts de minéraux argileux et de dépôts de fragments de fibres végétales. Les zones les plus sombres correspondent à de la matière organique piégée entre les minéraux argileux. Cette matière constitue la matrice bitumeuse.</p> 	

Document 5 : quelques réactions chimiques d'altération des minéraux du granite sous l'action de l'eau

- Feldspath (Orthose) + eau → Kaolinite (minéral argileux)
- Muscovite + eau → Kaolinite (minéral argileux)
- Quartz + eau → Quartz + silice en solution

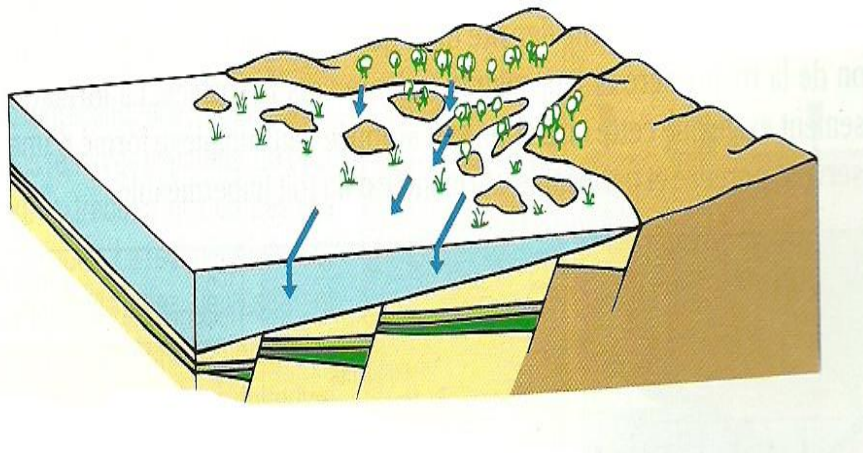
Page à rendre avec la copie

Document 6 : fonctionnement du lac

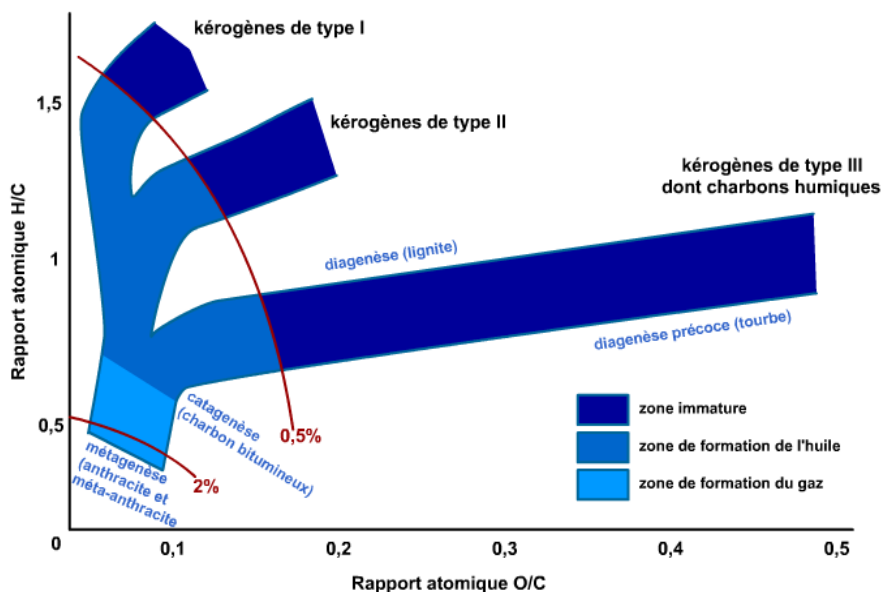
En période de faibles apports détritiques, le lac est alimenté par des chenaux. Il est de faible profondeur. La sédimentation organique y est abondante. Les abords du lac sont marécageux. Il se forme des lits riches en débris végétaux en alternance avec des sédiments fins qui formeront les futures veines schisteuses.

En période de forts apports détritiques, la sédimentation est variable suivant la vitesse de transport des particules par les rivières (sédiments grossiers à fins).

Mise en place des dépôts sédimentaires du bassin à l'Autunien (295-275 Ma)



Document 7a : classification des différents types de kérogènes en fonction de leurs rapports atomiques H/C et O/C (diagramme de Van Krevelen)

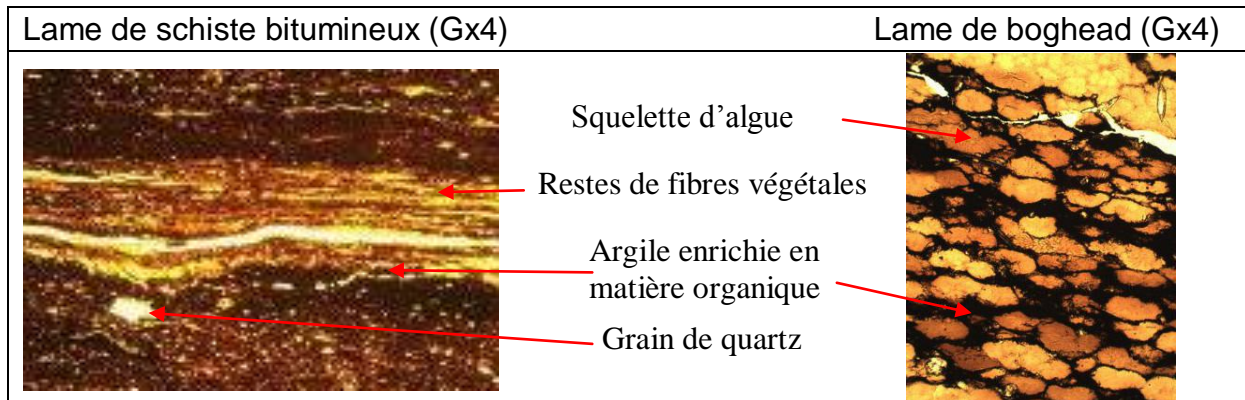


Le kérogène est issu de la transformation de matières organiques ; il est souvent associé à des particules argileuses. On distingue trois types selon les rapports atomiques H/C et O/C. Le kérogène de type I est issu de la transformation après enfouissement de micro-algues lacustres dont les parois sont résistantes.

Le kérogène de type II est issu de la transformation après enfouissement d'organismes marins planctoniques.

Le kérogène de type III est issu de la transformation après enfouissement de végétaux vasculaires terrestres.

Document 7b : lames minces de roches sédimentaires provenant du bassin d'Autun



Document 7c : rapports atomiques du kérogène des schistes bitumineux et des bogheads

L'analyse des Bogheads du bassin d'Autun montre un rapport atomique H/C compris entre **1,5** et **1,8** et un rapport atomique O/C **> 0,1**

L'analyse des schistes bitumineux du bassin d'Autun montre un rapport atomique H/C compris entre **0,6** et **1,2** et un rapport atomique O/C compris entre **0,2** et **0,4**.

Document 8a : histoire de l'industrie du schiste à Autun



Le bassin d'Autun est souvent considéré comme le berceau de l'industrie schistière. Bien avant que le pétrole n'ait été découvert, on produisait à Autun l'huile de schiste. Ce sont les formations superficielles du bassin, jusqu'à une profondeur de 300 m, qui ont été exploitées. Les mineurs extrayaient le schiste qui était ensuite concassé pour être traité. Ce traitement pour l'obtention de pétrole lampant, était réalisé sur place et correspondait à une pyrogénéation (distillation). L'huile obtenue par pyrogénéation était ensuite raffinée pour donner différents dérivés. L'exploitation débuta en 1838, et prit un grand essor autour des années 1860. Quelques années plus tard, l'importation du pétrole provenant des Etats-Unis ruina l'industrie schistière. Un

programme d'extension pendant la seconde guerre mondiale ne permit pas le redémarrage de l'activité. En 1957, l'arrêt fut définitif, sans que le gisement soit véritablement épuisé en raison du prix prohibitif de l'huile brute fabriquée en comparaison du prix du pétrole brut. Des études réalisées autour des années 1974 en vue d'examiner l'opportunité d'une reprise de l'exploitation des schistes bitumineux n'ont, à ce jour, pas donné de suite.

Source : d'après <http://www.industrie-bourgogne.fr/>

Document 8b : la découverte du pétrole aux Etats-Unis.

Vers 1850, à Titusville en Pennsylvanie, Samuel Kier recueille sur des nappes d'eau, un liquide noirâtre qu'il vend aux pharmaciens de New York, sous le nom de « baume de Kier ». Outre ses propriétés médicamenteuses supposées, cette huile peut être utilisée directement pour l'éclairage malgré une odeur âcre. Quelques financiers audacieux fondent la « Seneca Oil Company » et confient à un certain Edwin L. Drake la recherche et l'exploitation de ce liquide. Le 27 août 1859, il réalise un forage qui atteint une profondeur de 23 mètres, d'où le pétrole jaillit. Il produit 25 barils par jour en flux constant. La nouvelle se répand rapidement et les aventuriers affluent. C'est une véritable ruée vers l'or noir. Par la suite le pétrole sera raffiné et donnera une multitude de produits.

QUESTIONS

QUESTION 1 : à l'aide du document 1, préciser à quelles périodes géologiques correspondent les roches sédimentaires du bassin d'Autun et la nature des déformations qui affectent les roches environnantes.

QUESTION 2 : en vous appuyant sur les documents 2 et 3, présenter le contexte géodynamique et climatologique qui a permis la formation du lac, il y a 350 Ma, et son comblement, entre -295 Ma et -275 Ma.

QUESTION 3 : compléter le schéma du document 6 :

- en y replaçant chacune des roches du document 4 ;
- en y positionnant à l'aide de légendes, les mécanismes et les transformations, présentés sur les documents 5 et 6, qui ont permis la formation des roches sédimentaires (grès et schiste bitumineux) à partir du granite.

QUESTION 4 : en vous aidant des documents 7a, 7b et 7c, identifier le type de kérogène contenu dans les schistes bitumineux et les bogheads.

Localiser graphiquement ces deux roches sur le diagramme de Van Krevelen.

QUESTION 5 : argumenter le fait que cette industrie schistière a périclité lorsque l'on a découvert les gisements de pétrole en Amérique du Nord.