

SESSION 2009

**ACADEMIES DE
CRETEIL, LILLE,
ORLEANS-TOURS, PARIS
& 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.

Les pages 11 et 16 sont à rendre avec la copie.

Exercice 1 : les hydrates de méthane... manne énergétique ou bombe écologique à retardement

Ces dernières décennies, l'exploration des fonds océaniques a permis d'étonnantes découvertes avec entre autres l'existence jusqu'alors insoupçonnée d'importantes quantités d'hydrates de méthane. Les réserves traditionnelles d'hydrocarbures s'épuisant, ces hydrates de méthane font rêver ... mais le réchauffement climatique pourrait aussi les faire sortir naturellement de leur réserve avec perte et fracas...

Document 1 : que sont les hydrates de méthane ?

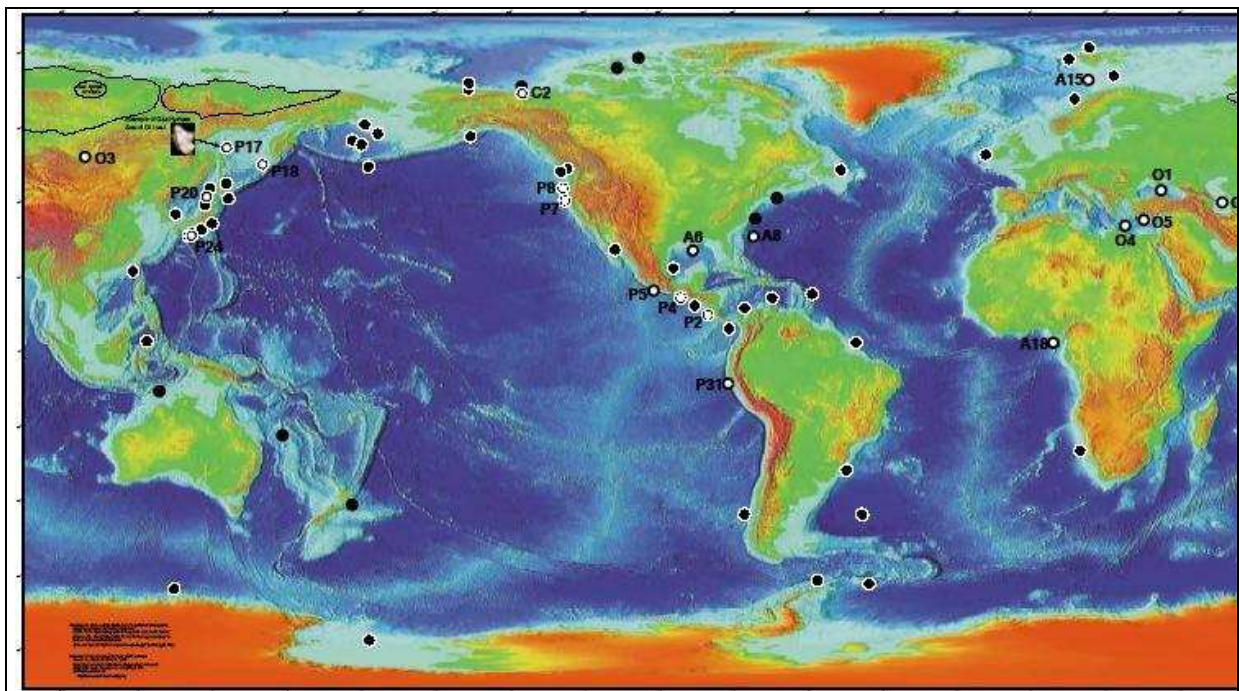
Le méthane résulte de la décomposition, à l'abri de l'oxygène de l'air, de débris animaux et végétaux (essentiellement du zooplancton et du phytoplancton) qui précipitent sur le plancher des océans. Une fois formé, le méthane peut partir rapidement dans l'atmosphère, ou, dans des conditions particulières de température et de pression, peut s'associer à de l'eau et former un cristal mixte d'eau et de méthane, qui s'appelle... un hydrate de méthane. Cela ressemble à de la glace ...sauf que c'est de la glace qui brûle en libérant du dioxyde de carbone et de l'eau.

www.manicore.com

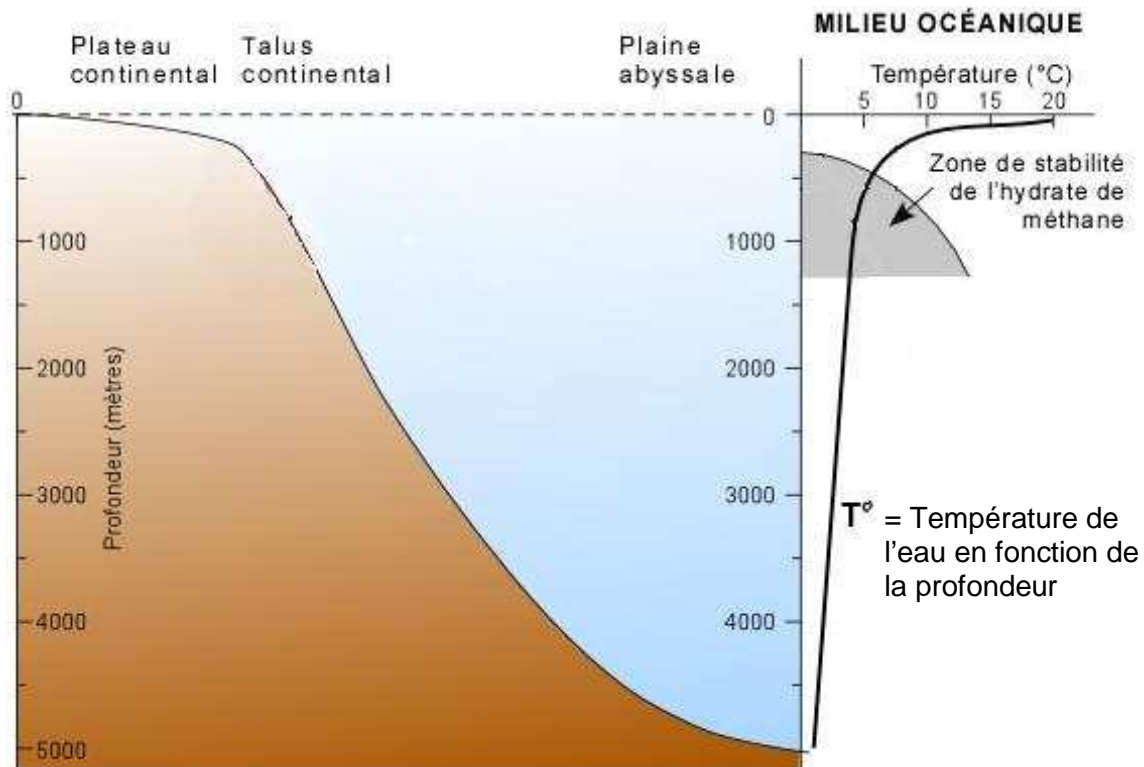
Document 2 : localisation des hydrates de méthane

Régions du monde où la présence d'hydrates est avérée par des prélèvements (ronds blancs) ou supposée par le biais d'analyses sismiques ou d'analyses de puits dans lesquelles des carottes ont été prélevées (ronds noirs).

Source Keith A. Kvenvolden and Thomas D. Lorenson, USGS, 2000



Document 3 : zone de stabilité des hydrates de méthane



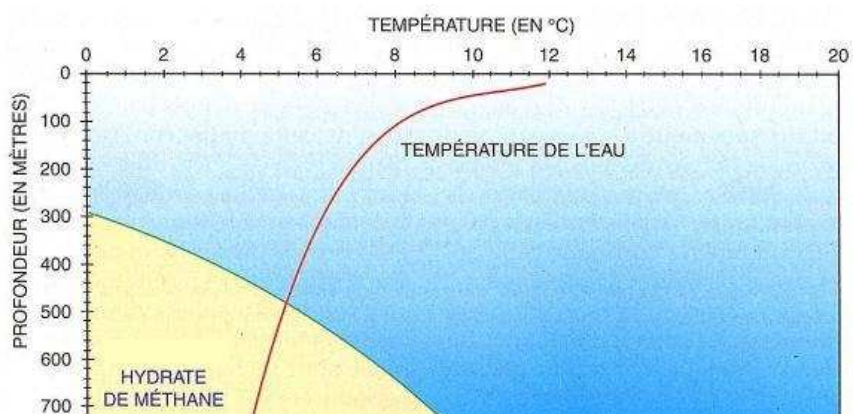
D'après Bourques - Université de Laval Canada

L'hydrate de méthane est stable à l'état de glace dans les conditions de température et de pression exprimées par la zone en gris, et instable sous les conditions à l'extérieur de cette zone.

Document 4 : quelques valeurs...

| |
|---|
| <p>Consommation énergétique mondiale en 2005 : 8,10 Gtep (Gigatonnes équivalents pétrole) <small>(source: conseil mondial de l'énergie 2007)</small></p> |
| <p>1 tep = 42 GJ (Gigajoules)</p> |
| <p>La combustion d'un kg de méthane libère 55 600KJ (kilojoules)</p> |
| <p>Estimation de la quantité de méthane au fond des océans : $2 \cdot 10^{15}$ Kg <i>Milkov 2005</i></p> |

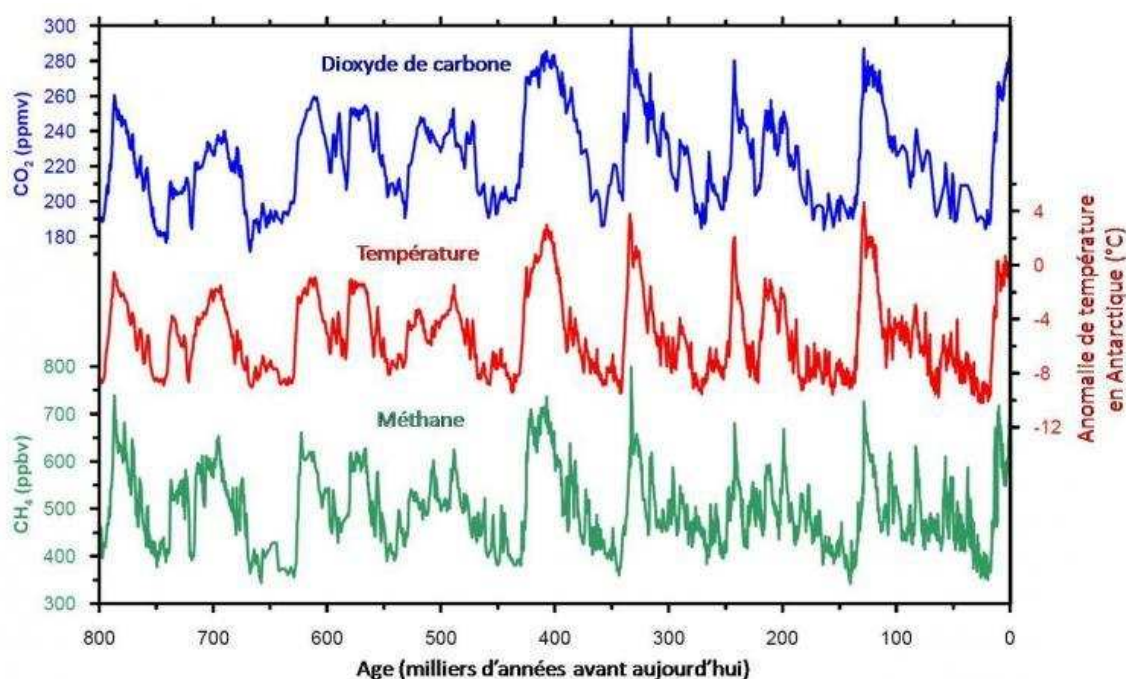
Document 5 : diagramme de stabilité des hydrates de méthane



La courbe rouge représente la température moyenne de l'eau sous la surface de l'océan, à des latitudes moyennes (en fait, quelle que soit la latitude, la température de l'eau à quelques centaines de mètres de profondeur est presque la même, à quelques degrés près). La zone colorée en jaune représente la zone de stabilité potentielle des hydrates de méthane.

www.manicore.com d'après données usgs 2005.

Document 6 : Mai 2008 ... la carotte du dôme C nous raconte



Evolution des deux gaz à effet de serre de l'atmosphère les plus importants après la vapeur d'eau : le dioxyde de carbone (courbe bleue) et le méthane (courbe verte), au cours des derniers 800 000 ans. La reconstitution de la température en Antarctique (courbe rouge) est issue des mesures des isotopes de l'eau constituant la glace. Les données de dioxyde de carbone proviennent de plusieurs carottes de glace (Vostok, Taylor Dome, EPICA Dôme C). Celles du méthane sont entièrement issues du forage EPICA Dôme C.

Université de Berne et LGGE. 15 Mai 2008

QUESTIONS

1. a. A l'aide des documents 1, 2 et 3, localiser les hydrates de méthane présents dans les océans.
b. Hachurer cette zone sur le document 3 qu'il faudra rendre avec la copie.
2. Les réserves d'hydrates de méthane présentent potentiellement une source d'énergie importante. En considérant que la consommation d'énergie reste constante, calculer durant combien d'années les hydrates de méthane permettraient d'assurer l'approvisionnement énergétique du monde.
3. A l'aide d'une détermination graphique sur le document 5, indiquer l'effet d'un réchauffement global océanique de 2°C sur le devenir des hydrates de méthane présents à 550 m de profondeur.
4. Sachant que la communauté scientifique s'accorde sur un réchauffement climatique à venir, justifier l'expression " les hydrates de méthane constituent une bombe écologique à retardement".

Exercice 2 : les travaux de construction d'un parking souterrain

Les documents utilisés dans cet exercice sont tirés de l'étude géotechnique d'auditorium et de parking souterrain réalisée par Nicolas Carpentier de la société ANTEA

La ville de Bordeaux souhaite construire un parking souterrain. Celui-ci est un ouvrage rectangulaire, prévu sur 10 niveaux de sous-sol. Compte tenu du contexte géologique et des études préalables, votre agence s'est vu proposer, par le maître d'œuvre, l'étude géotechnique complémentaire des terrains où celui-ci sera construit.

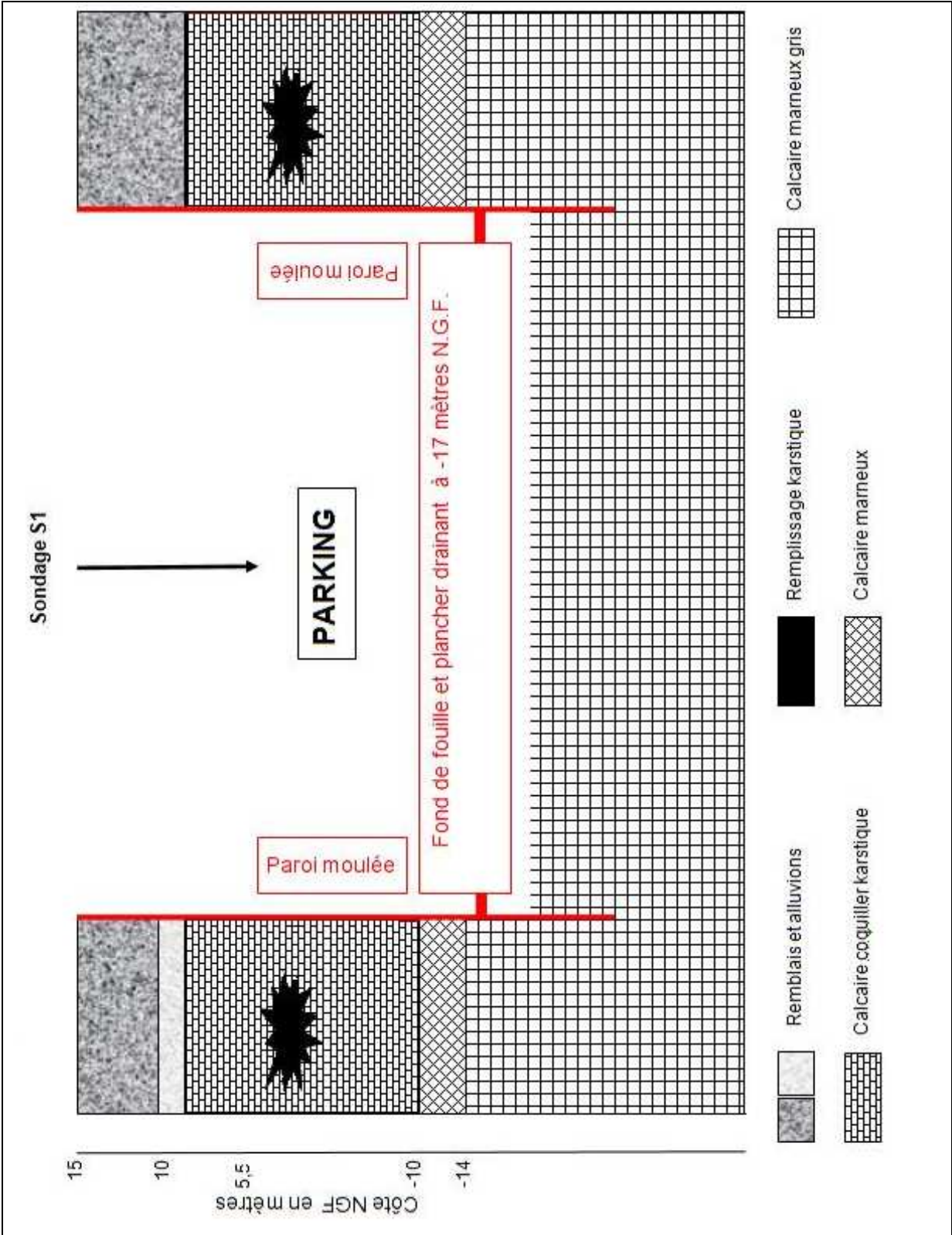
Cette étude a porté sur plusieurs points : la reconnaissance de la nature des roches du sous sol, leurs caractéristiques mécaniques et l'étude hydrogéologique du lieu.

Votre étude terminée, vous conseillez au maître d'œuvre l'utilisation de parois moulées ancrées dans le substratum de calcaire marneux ainsi que la mise en place d'un radier drainant.

Le document 1 présente la solution envisagée.

- 1. D'après l'ensemble des informations recueillies (documents 2 à 4), quelles difficultés ce type de sous-sol présente-il pour la construction de cet ouvrage ?**
- 2. Sur le document 5 représenter le trajet de l'eau.**
- 3. Le document 1 présente le projet simplifié proposé par votre agence. Justifier la présence des parois moulées et du plancher drainant.**

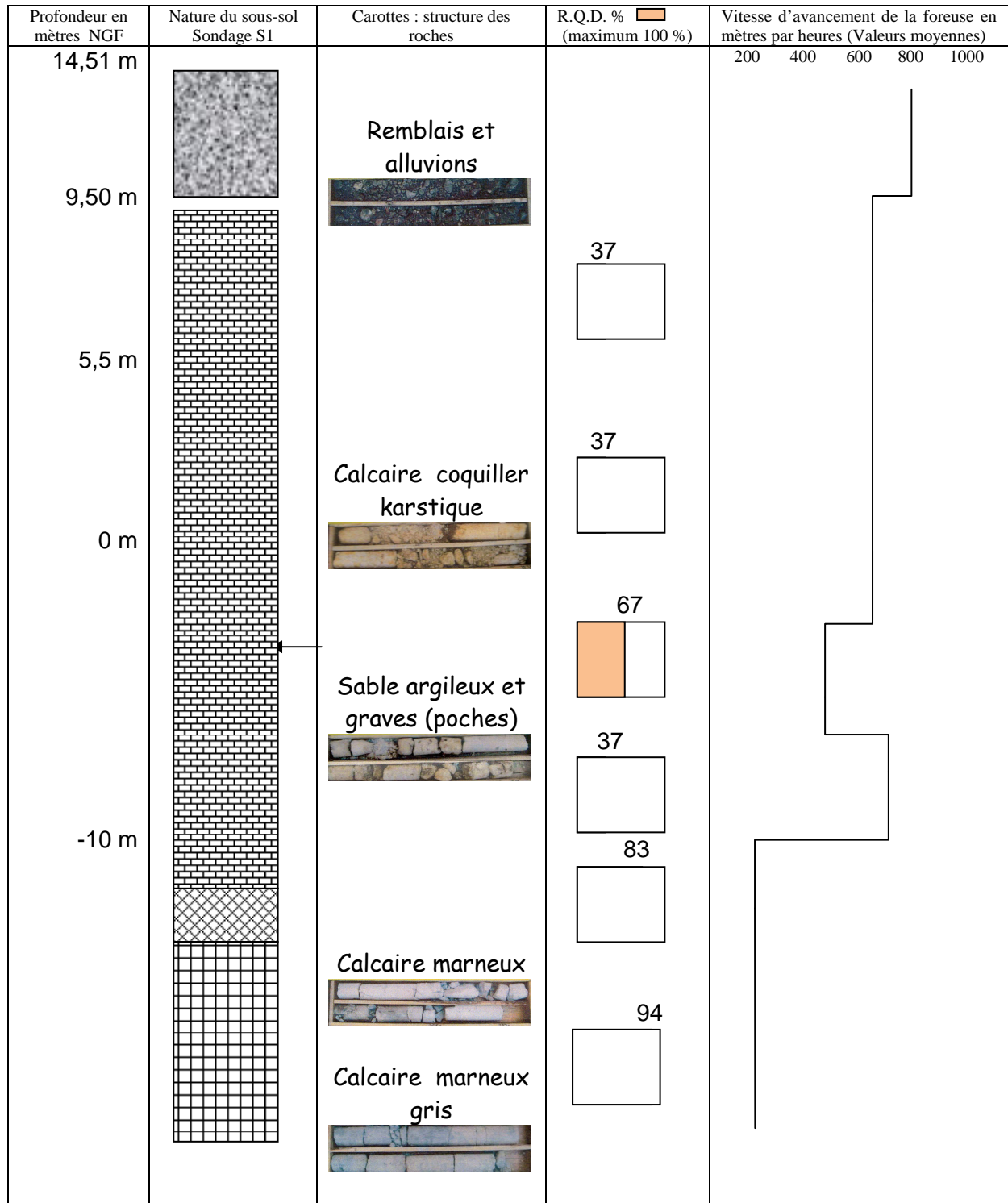
Document 1 : Projet



Document 2 : coupe du sondage S1 et caractéristiques physiques des roches

N.G.F : Niveau Géographique Français correspondant au 0 du niveau de la mer à Marseille

R.Q.D : « Rock Qualification Design » exprime la densité de fracturation. Sur 1 mètre de carotte on mesure la somme des morceaux dont la taille est égale ou plus grande que 10 centimètres et on calcule le pourcentage. Plus celui-ci est élevé moins la roche est fracturée.



Document 3 : caractéristiques des roches rencontrées au cours du forage

| Roches | Caractéristiques |
|-----------------------|--|
| Remblais et alluvions | Remblais urbains grossiers à dominance argilo-sableuse, avec des graves (mélange de sables et de gravillons) et des morceaux de brique. Les alluvions se présentent soit sous le faciès argile compacte avec de petits galets, soit sous le faciès sable graveleux. |
| Calcaire karstique | Couche hétérogène constituée de bancs très altérés, tendres, fracturés, friables et de bancs calcaires massifs et très compacts. Présence de cavités remplies d'argiles meubles avec ou sans graves ou vides. |
| Calcaire marneux | Calcaire coquiller peu marneux cohérent. Avec présence de marnes, roche homogène, peu perméable, non altérée et non karstifiée. |

Document 4 : caractéristiques hydrodynamiques

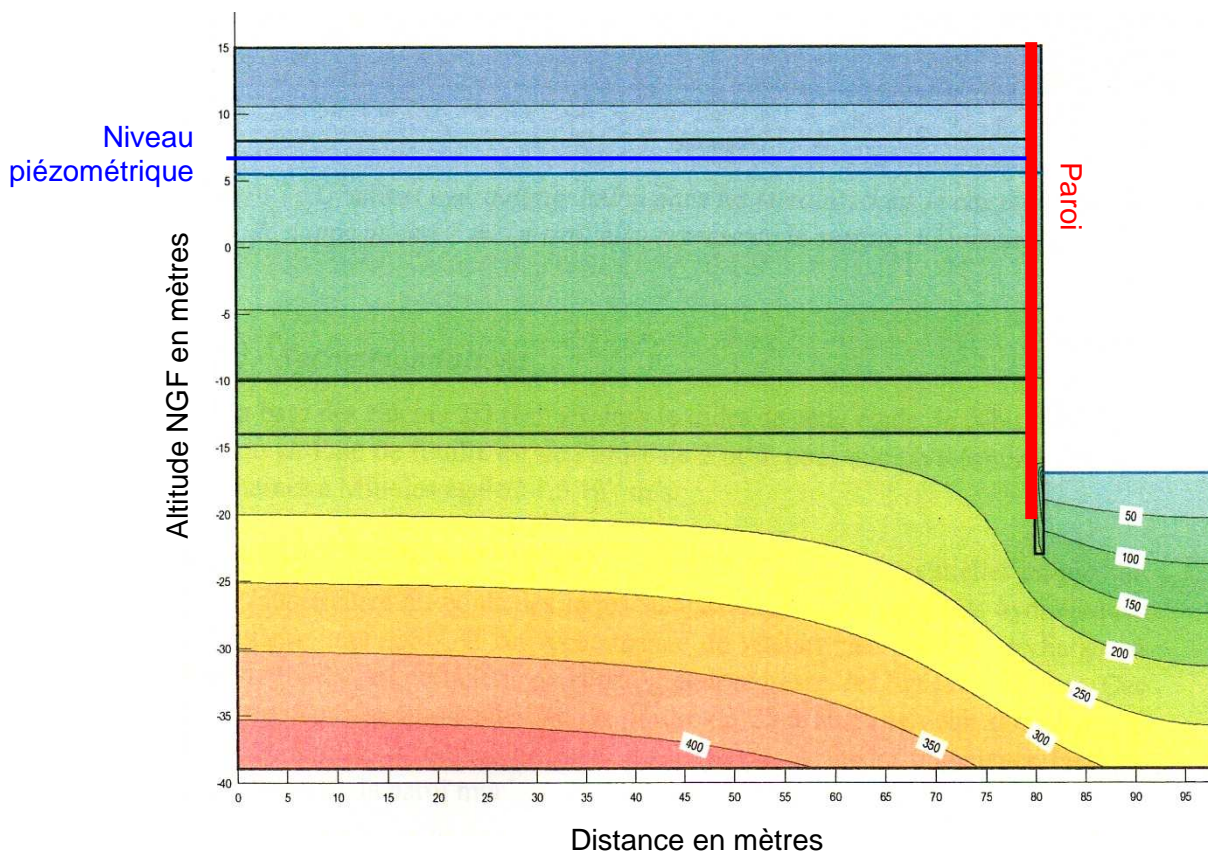
4 a : contexte hydrogéologique, par référence aux données du sondage S1

Le tableau suivant présente les différentes formations géologiques rencontrées sur le site, décrites du haut vers le bas et les perméabilités associées.

| Formation | *Perméabilités horizontales |
|----------------------|---|
| Remblais | |
| Calcaires karstiques | 1.10^{-5} à 1.10^{-4} m.s ⁻¹ |
| Calcaires marneux | 3.10^{-7} m.s ⁻¹ |
| Paroi moulée | 5.10^{-9} m.s ⁻¹ |

* La perméabilité d'un milieu est son aptitude à laisser passer l'eau.

4b : modélisation de la distribution de la *pression interstitielle (kPa) pour un niveau de nappe de 5,5 NGF.



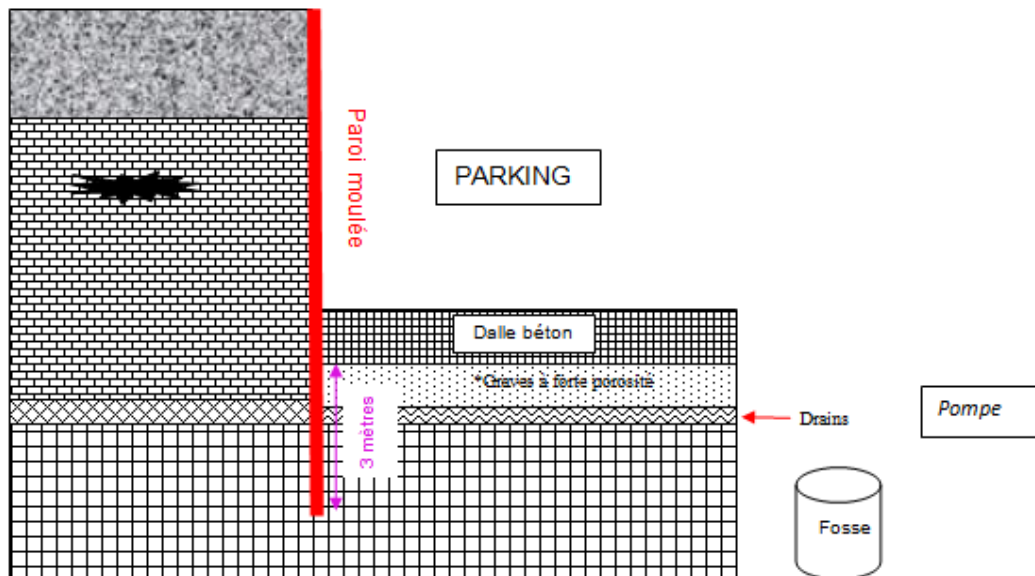
* La pression interstitielle est la pression exercée par l'eau

Document 5 à rendre avec la copie

Schématisation du plancher drainant préconisé par le cabinet d'études

Le radié drainant est constitué de 30 centimètres de graves à forte porosité, et d'un réseau de drains sous le plancher béton. La circulation de l'eau se fait le long de la paroi. L'eau est envoyée dans une fosse et reprise avec une pompe de relevage.

Remarque : sur ce schéma, les échelles, l'épaisseur et la profondeur des couches ne sont pas respectées.



Exercice 3 : L'eau des fontaines de Paris

Au Moyen Age, Paris se dote d'une première fontaine à eau. Au fil du temps, la ville s'équipe de nouvelles fontaines auxquelles les porteurs d'eau et les habitants viennent s'approvisionner. C'est au XIX^{ème} siècle que les parisiens découvrent la nappe d'eau souterraine des sables verts de l'Albien.

On se propose d'étudier les caractéristiques de cette nappe, et de déterminer les conséquences de son exploitation.

Document 1 : Les fontaines de Paris.



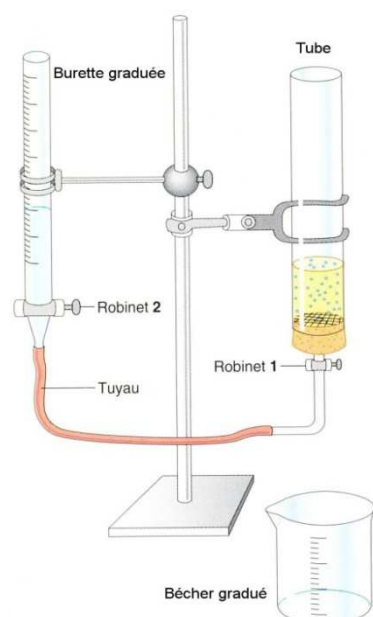
La nappe d'eau souterraine des sables verts de l'Albien s'étend d'Arras à la Sologne et de l'embouchure de la Seine à Troyes. En 1833, Arago propose de puiser cette eau en utilisant le principe des puits artésiens, car l'eau se trouve à une pression suffisante dans la nappe pour la faire remonter au-dessus de la surface du sol. Elle suscite un réel engouement des riverains, qui lui prêtent des vertus incomparables. Paris devient alors ville d'eau. Quinze forages ont été réalisés jusqu'en 1930, puis une trentaine de nouveaux a été menée en 5 ans.

Parties intégrantes du paysage et du patrimoine de la ville, les fontaines sont les premiers exemples de mobiliers urbains, véritables emblèmes de la capitale et faisant l'objet réhabilitation par la Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris (SAGEP).

Document 2a : Propriétés des roches vis-à-vis de l'eau : perméabilité et porosité.

La perméabilité est la propriété d'un matériau à se laisser traverser par un liquide. La porosité totale est le volume des vides de la roche, estimé en pourcentage par rapport au volume total de celle-ci. La porosité efficace ou utile est le volume d'eau non retenu par les grains, estimé en pourcentage par rapport au volume total de la roche.

Document 2b : protocole de mesure de la porosité et de la perméabilité du sable (d'après Sciences de la vie et de la Terre 2^{nde}, Nathan, édition 1997).



a) Principe de mesure de la porosité :

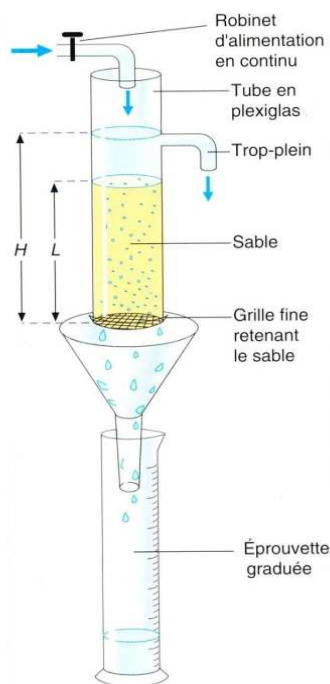
La burette est remplie d'eau. Suite à l'ouverture des robinets, l'eau remonte dans l'échantillon testé, comblant les espaces entre les grains constituant la roche.

Le volume d'eau versé correspond à la porosité totale.

Après fermeture du robinet 2, le tuyau reliant la burette au tube est débranché. Le volume d'eau recueilli V2 correspond au volume d'eau non retenu par les grains, donc à la porosité efficace.

Résultats de la mesure de porosité pour un sable :

| V1 (en cm ³) | V2 (en cm ³) |
|--------------------------|--------------------------|
| 17,2 | 7,4 |



b) Principe de mesure de la perméabilité :

De l'eau est versée sur l'échantillon avec un débit tel que l'eau en excès est en permanence éliminée par le trop-plein. Ainsi la colonne d'eau est de hauteur constante, H .

Des mesures à intervalles de temps constants de 30 minutes du volume permettent de définir le débit sortant et de calculer le coefficient de perméabilité de la roche.

Document 3a : Porosité et perméabilité de quelques roches (d'après <http://accès.inrp.fr>).

| | Porosité efficace (en %) | Porosité totale (en %) | Coefficient de perméabilité (mètre d'eau . jour ⁻¹) |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|--|
| Sable et gravier | 15 à 25 | 25 à 40 | 1000 à 10 |
| Sable fin | 10 à 15 | 30 à 35 | 100 à 0,1 |
| Argile | 1 à 2 | 40 à 50 | < 0,1 |
| Calcaire (fissuré) | 1 à 10 | 10 à 50 | < 1 |

Document 3b : Classification simplifiée des sédiments d'après la taille de leurs grains (d'après *Sciences de la Terre et de l'univers*, édition Vuibert, 2006).

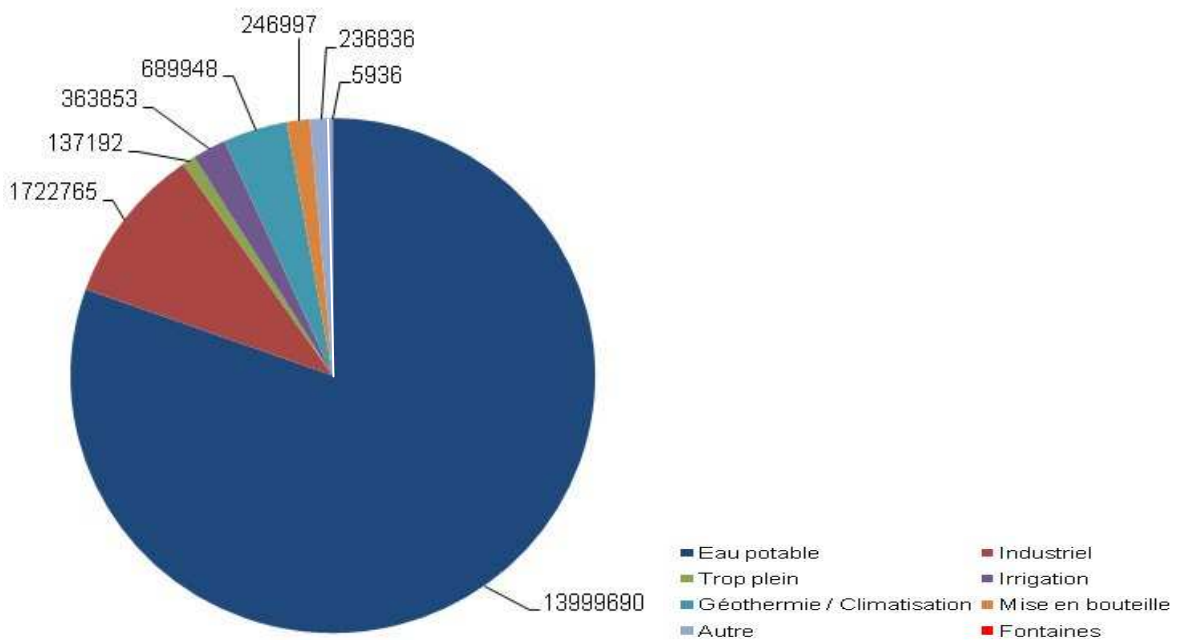
| Taille du grain de sédiment (en mm) | 256 | 64 | 4 | 2 | 0,5 | 0,25 | 0,0625 | 0,0039 | |
|--|------|------------|-------|---------|--------------------------------|-------|----------------------|--------|--------|
| Nom du sédiment | Bloc | Petit bloc | Galet | Gravier | Sable très grossier à grossier | Sable | Sable fin à très fin | Silt | Argile |

Document 3c : Résultat des analyses de la taille des grains des sables verts de l'Albien.

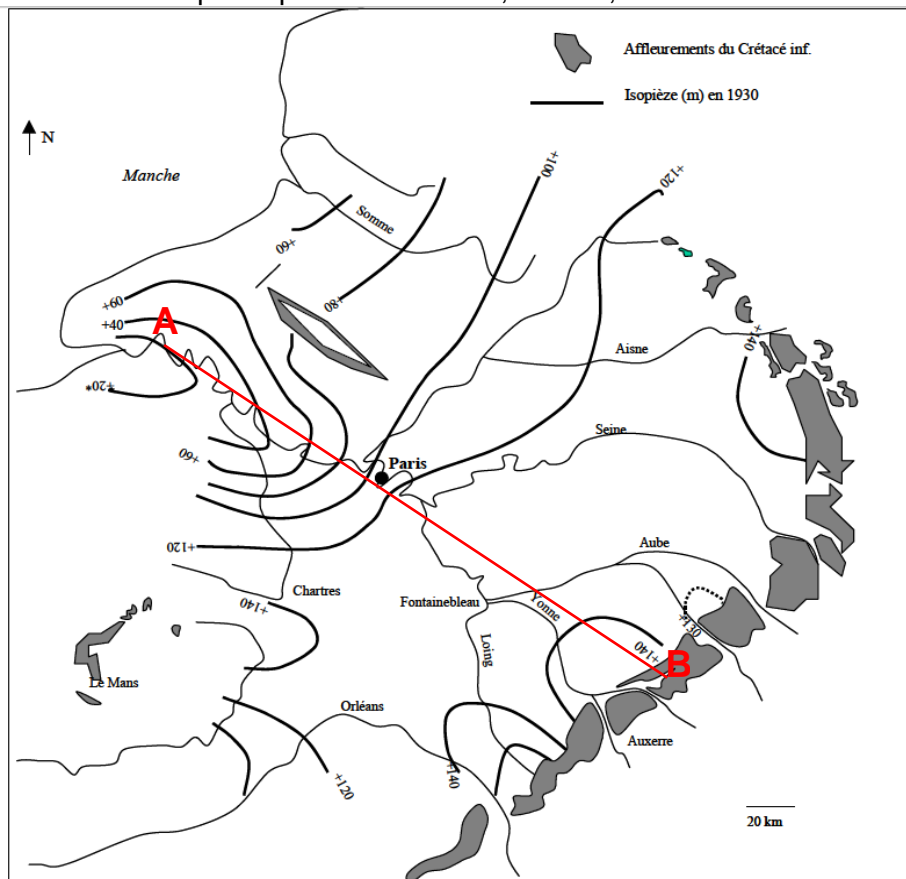
| Taille (en mm) | 0,0625 – 0,1 | 0,1 – 0,125 | 0,125 – 0,25 | 0,25 – 0,315 | 0,315 – 0,4 | 0,4 – 0,630 | > 0,630 |
|-----------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|---------|
| Pourcentage de grains | 1 | 3 | 73 | 11 | 7 | 2 | 1 |

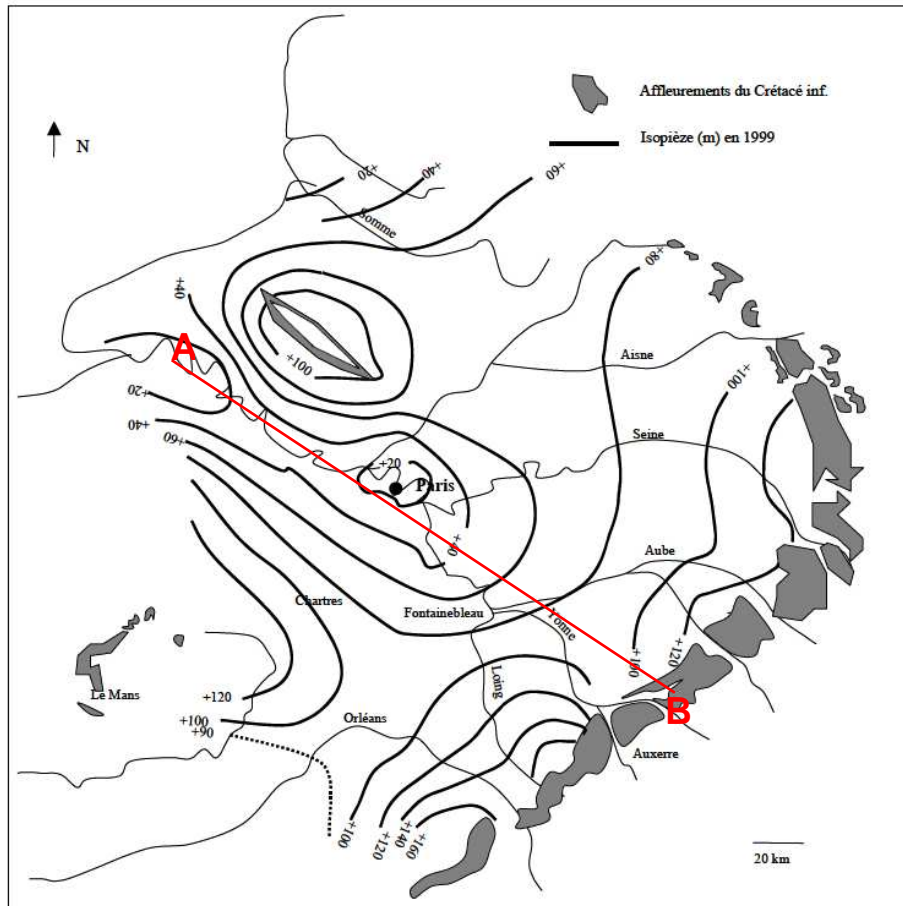
Les documents 4, 5 et 6 sont en page 16 du sujet, ils sont à rendre avec le devoir.

Document 7 : Répartition par usage des volumes prélevés en 2007 essentiellement dans la nappe d'eau de l'Albien (en m³) (d'après www.drire.gouv.fr).



Document 8 : Cartes simplifiées du niveau de la nappe ou isopièze en 1930 et 1999. En 1840, le niveau atteint par le puits de Grenelle, à Paris, était de + 120 m.



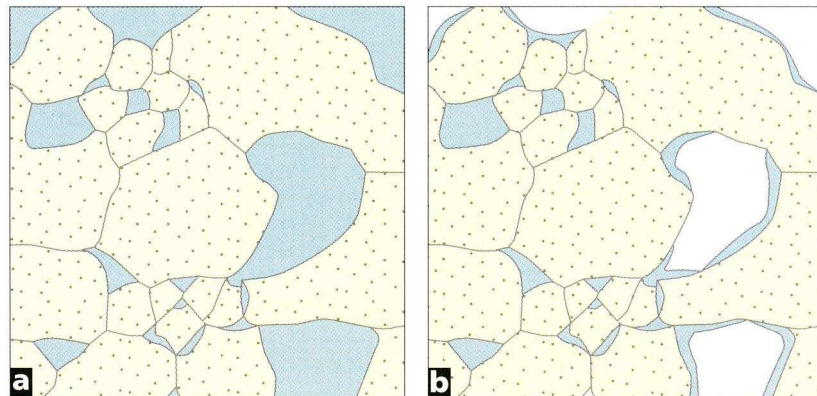


Questions :

1. Décrire la formation géologique réservoir où l'eau de Paris est puisée : la nature des roches le constituant, sa profondeur, les roches situées au-dessus et au-dessous.
2. En s'appuyant sur une comparaison des marnes barrémiennes et des argiles du Gault, dégager les propriétés des roches où est prélevée l'eau de Paris et montrer en quoi elles constituent un bon réservoir.
3. Mettre en relation les propriétés avec la disposition des sables verts de l'Albien dans la coupe géologique du document 5.
4. Hachurer et légèrer, sur le document 4, les zones qui correspondent à la porosité totale et celles correspondant à la porosité utile des sables, à partir des définitions du document 2a.
5. Repérer par une flèche sur le document 5, le point d'entrée des eaux de précipitation dans les sables verts de l'Albien.
6. A partir du document 7, calculer la consommation d'eau en 2007. Puis, en supposant que le réservoir (estimé à 425 milliards de mètres cube) ne se renouvelle pas et que la consommation reste constante, calculer en combien de temps cette ressource en eau s'épuisera.
7. Sur le document 6, tracer le niveau de la nappe d'eau en 1930 et en 1999, selon la coupe A-B du document 8. Expliquer l'évolution du niveau de la nappe entre ces deux périodes à l'aide des informations du document 1.
8. Proposer des mesures permettant de réduire cette évolution.

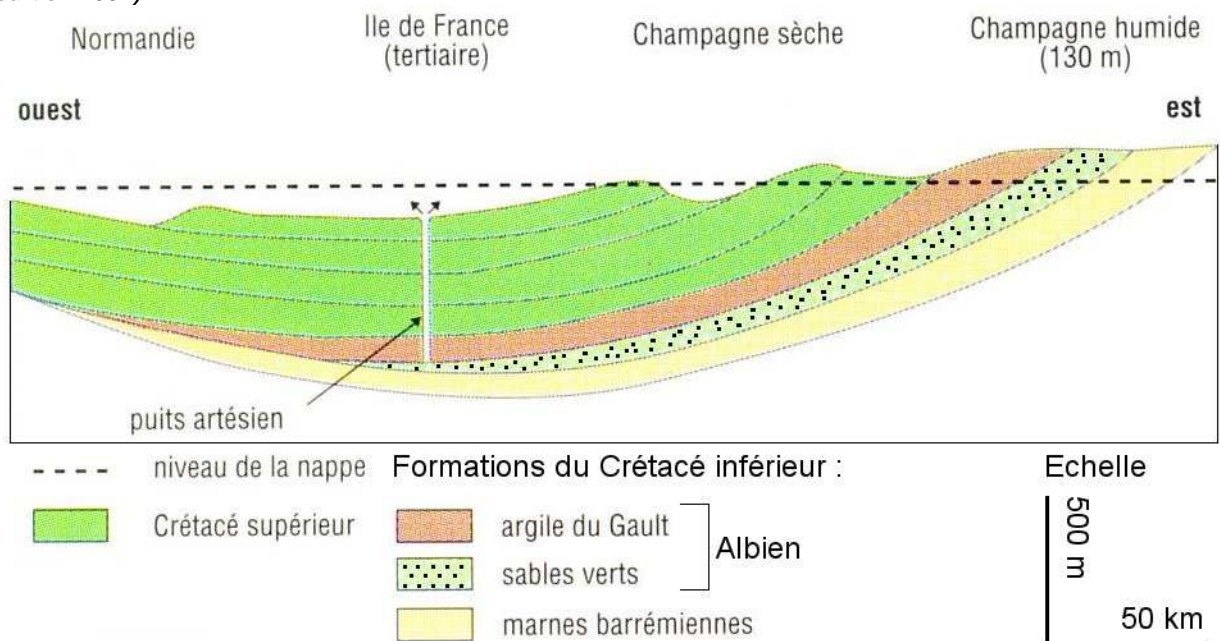
N° DE CANDIDAT :

Document 3 : Représentation schématique, à l'échelle microscopique, de l'état du sable à saturation (a) et après écoulement libre de l'eau (b).



Légende : Grain de sable Eau Air

Document 5 : Coupe géologique simplifiée du bassin parisien et niveau de la nappe des sables verts de l'Albien (d'après *Sciences de la Vie et de la Terre, 2^{nde}*, Hachette éducation, édition 1997).



Le niveau de la nappe est la surface à laquelle l'eau peut remonter car la pression de l'eau est en équilibre avec la pression atmosphérique.

Les marnes sont des roches sédimentaires contenant du calcaire et de l'argile en quantité à peu près équivalentes.



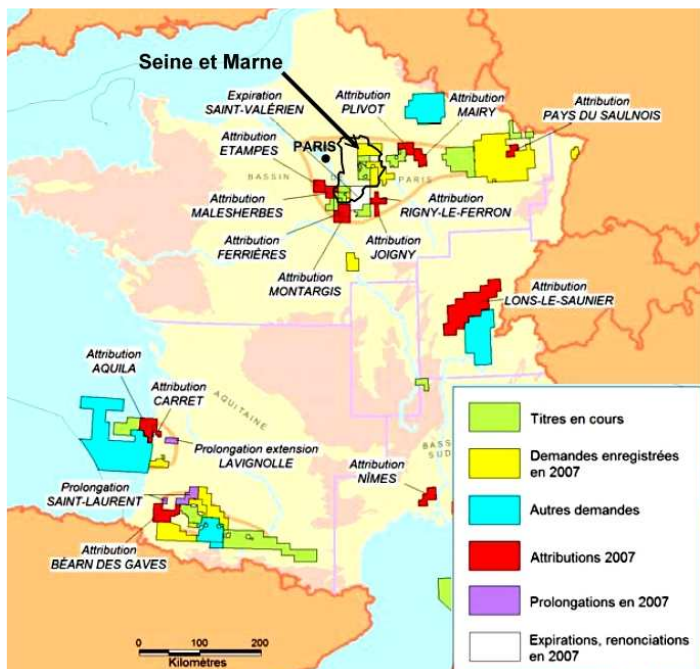
EXERCICE 4 :

AU PAYS DE L'OR NOIR... LES ENJEUX D'UNE PROSPECTION PETROLIERE

« En France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées », ce slogan avait été lancé dans les années 70 lors des deux chocs pétroliers. « Il y a encore quelques années, la production était en berne mais avec la hausse des cours du pétrole, de nouveaux prospecteurs s'intéressent à la Seine-et-Marne », explique Carole Mercier, chef du bureau exploration production des hydrocarbures (BEPH) du ministère de l'Industrie.

L'exploitation du pétrole du sous-sol de la Seine et Marne est-elle envisageable et rentable ?

Document 1 : Le pétrole de Seine et Marne donne des idées aux investisseurs



Carte ci-contre, extraite du bulletin d'information du BEPH 2007

Le département compte une centaine de puits qui fournissent plus de 20% de la production française, soit 205 000 tonnes en 2007, selon la direction régionale de l'industrie et de la recherche (*Drire*).

Évolution du domaine minier en 2007

"Dans les années 50, quand l'extraction a commencé, plusieurs multinationales étaient présentes, puis le prix du baril a chuté et elles sont parties prospecter à l'étranger, jugeant le bassin parisien peu rentable. [...] En 1994, le coût d'exploitation d'un baril était de 12 dollars et on le revendait à 16. Actuellement, un baril nous coûte 30 dollars et on le revend autour de 100 dollars", souligne le directeur général de *Geopetrol*, Bertrand Launois.

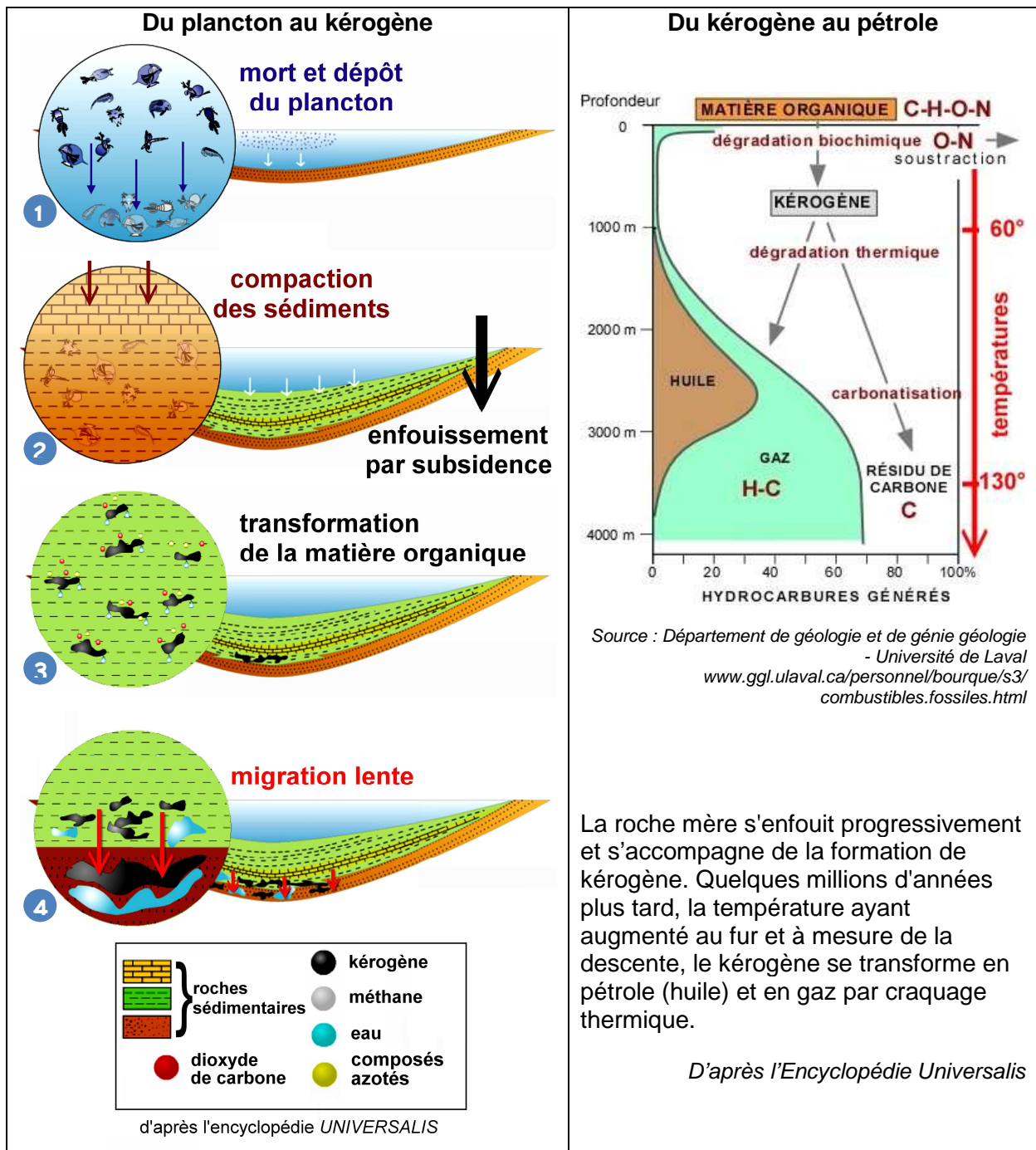
Selon les spécialistes, le pétrole de Seine-et-Marne est de très bonne qualité et ne contient pas de soufre. Compte tenu de la proximité des infrastructures pétrolières, l'hydrocarbure est acheminé à la raffinerie de Grandpuits, à une dizaine de kilomètres de l'endroit où il est extrait, donc un coût lié à son transport insignifiant.

Source : AFP, Ministère de l'Industrie - Le 1 septembre 2008

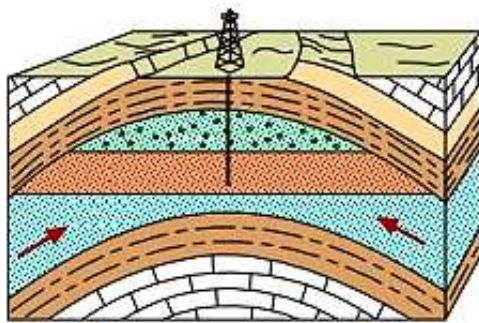
Document 2 : Formation des hydrocarbures

« Imaginez... », explique Pierre Albrecht, directeur du *Laboratoire Géochimie bio-organique* à l'université de Strasbourg, « un bras de mer ou un bassin un peu fermé en bordure d'océan, pas très loin du continent. Bref, des eaux pauvres en oxygène, il y a de ça plusieurs dizaines ou centaines de millions d'années. Des "débris" de plancton, des décombres de végétaux, des restes d'animaux morts..., y ont gagné lentement les abysses, plus ou moins dégradés par des bactéries ». Ces êtres vivants en décomposition « en se déposant sur le plancher et en achevant de se décomposer, se sont mélangés au sédiment formé d'argiles, de sables, de carbonates... » : c'est la **roche mère**.

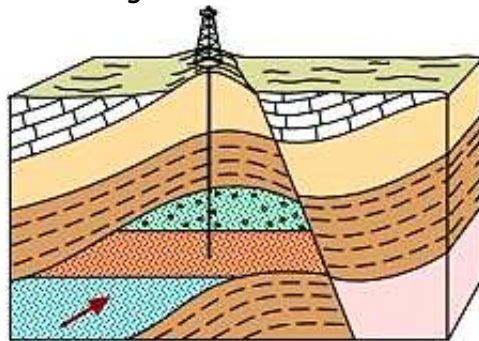
Source : Journal du CNRS > Pétrole : les raisons de la tourmente - N°178 novembre 2004



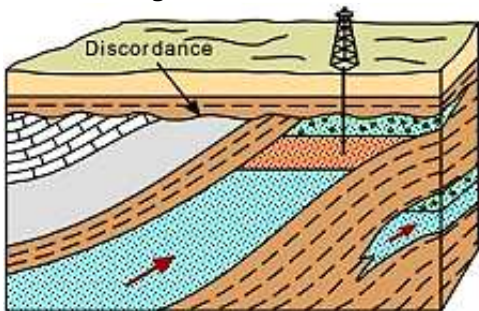
Document 3 : Un pétrole pris au piège



A - Piège structural : anticlinal



B - Piège structural : faille



C - Pièges stratigraphiques :
discordance et biseau sédimentaire



D - Pièges mixtes associés à un diapir



Seules les roches mères relativement imperméables peuvent retenir le kérogène suffisamment longtemps pour qu'il ait le temps de se transformer de manière importante. Mais cette imperméabilité a pour conséquence que le résultat de la transformation est, dans un premier temps, retenu prisonnier dans la roche de manière très dispersée. Lors de l'enfouissement de la roche mère, la pression augmente. Lorsque celle-ci devient suffisante pour vaincre "l'imperméabilité" de la roche mère, les hydrocarbures, le gaz et l'eau sont progressivement expulsés de la roche mère et migrent vers la **roche réservoir**, plus perméable. Ils migrent lentement le long des couches perméables qui jouxtent les couches de roche mère, en se dirigeant vers la surface.

Si, au cours de leur migration, les hydrocarbures rencontrent une roche imperméable, appelée **roche couverture**, ils sont alors piégés. Ils se concentrent dans les interstices de la roche réservoir et forment ainsi un gisement exploitable. Gaz, huile et eau se répartissent lentement verticalement en fonction de leur densité. Plusieurs formations géologiques (illustrées ci-contre) peuvent représenter des pièges à pétrole.

*D'après Comment se forment pétrole, gaz et charbon ?
Jean-Marc Jancovici*

Porosité et perméabilité de quelques roches

| Roches | porosité totale (%) | perméabilité (m.jour ⁻¹) |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Sable et gravier | 25 à 40 | 1000 à 10 |
| Sable fin | 30 à 35 | 100 à 0,1 |
| Argile | 40 à 50 | < 0,1 |
| Craie | 10 à 40 | 100 à 1 |
| Calcaire (fissuré) | 1 à 10 | < 1 |

<http://acces.inrp.fr/eduterre-usages/nappe/html/scenarii/TP/tp1.htm>

Source : Département de géologie et de génie géologie
- Université de Laval

Document 4 : Prospection sismique sous Paris

Les multinationales pétrolières, après avoir exploité les zones les plus faciles d'accès, cherchent à identifier de nouvelles "cibles", de plus en plus complexes et de plus en plus enfouies. La première étape, dont se chargent les géologues épaulés par des repérages aériens et satellitaires, consiste à arpenter et à observer le terrain, partout où se trouvent des "analogues de terrain", c'est-à-dire des équivalents géologiques des gisements.

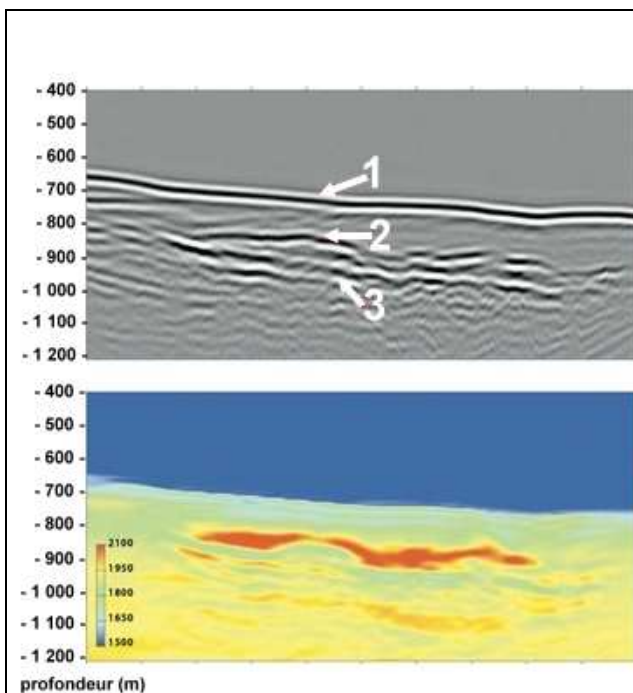
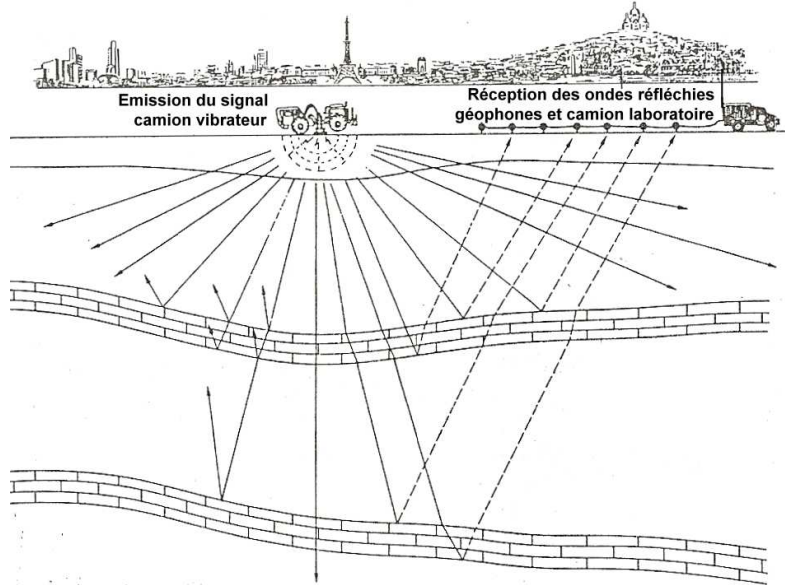
À partir de ces premiers indices, il est nécessaire, dans un second temps, d'ausculter soigneusement le sous-sol. C'est l'affaire des géophysiciens qui, armés de la "sismique réflexion", partent à la recherche des gisements d'or noir. Dans les années 1986 - 1987, cette technique a été utilisée pour sonder le sous-sol de Paris.

Émises par le camion, les vibrations pénètrent dans le sous-sol. Elles sont diversement réfléchies vers la surface, en fonction de la nature des roches et ces signaux sont captés par les géophones.

Le Monde, 19 nov. 1986

A la recherche d'or noir dans le sous-sol de Paris

Chaque nuit, d'étranges camions sillonnent la ville envoyant dans le sol des trains d'ondes qui, réfléchies et enregistrées, permettront peut-être de détecter d'éventuels "pièges à pétrole". Réponse dans un an.



Exemple d'enregistrement obtenu par sismique réflexion

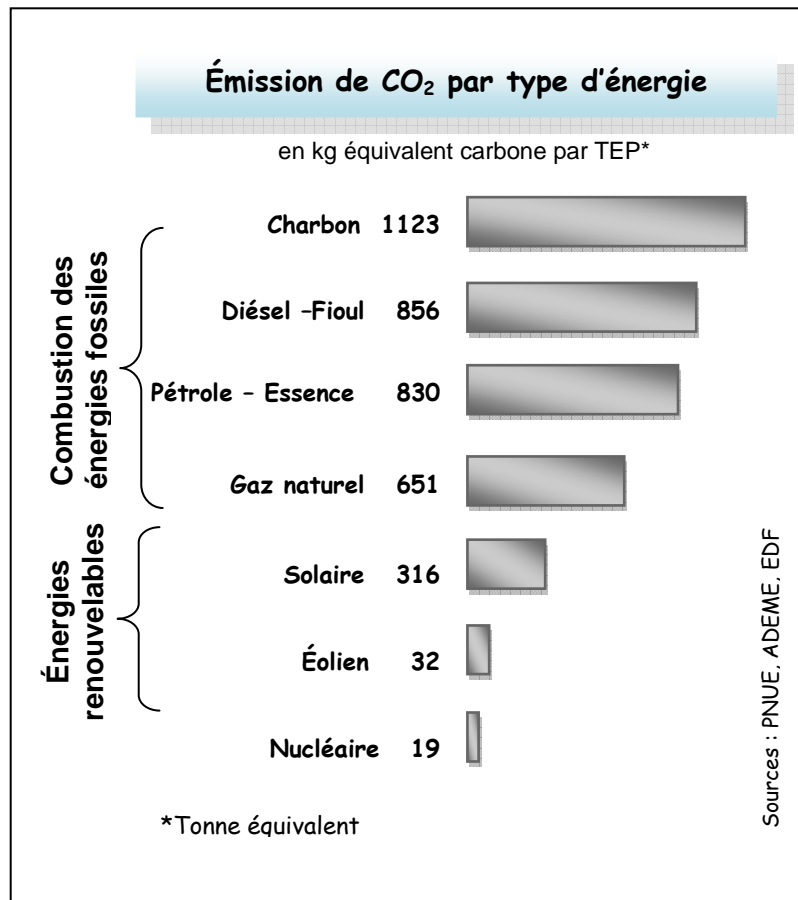
La figure du haut est une section sismique standard : on distingue différents réflecteurs dont celui correspondant au "toit" (roche couverture) des hydrocarbures (réflecteur N°2).

Exemple d'enregistrement obtenu par tomographie

La figure du bas permet de cartographier plus précisément la distribution des hydrocarbures dont la présence se traduit par des vitesses sismiques différentes (en rouge).

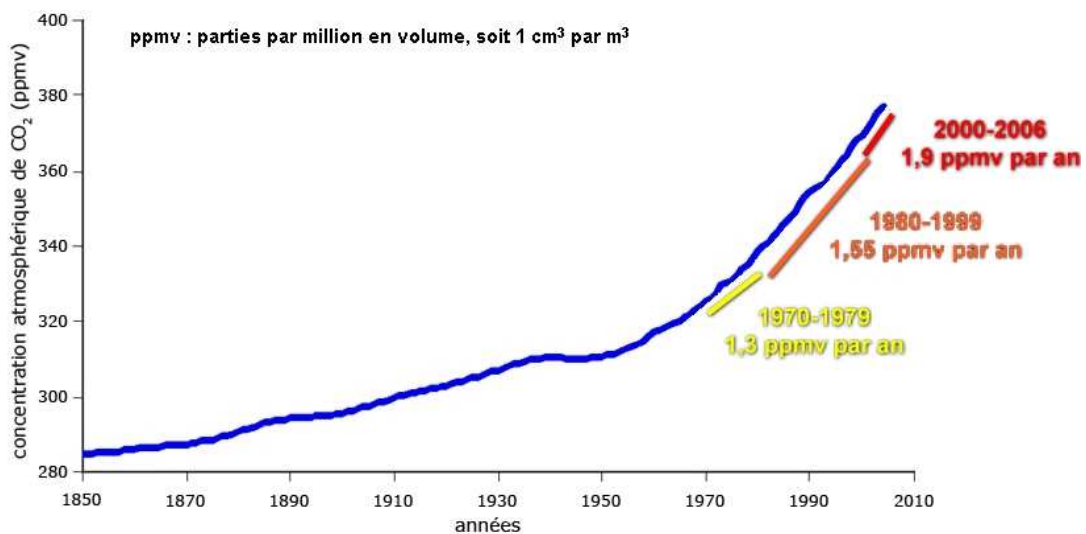
<http://www.ensmp.fr/Fr/Recherche/Domaine/ScTerEnv/GEOSCIENCES/GEOSCIENCES-rap-sommaire.html>

Document 5 : Pétrole et effet de serre



Évolution de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone au cours de l'âge industriel, entre 1850 et 2006.

De nos jours, le dioxyde de carbone représente 70% des gaz à effet de serre émis par les activités humaines.



Questions

1. A partir des informations sur les phénomènes géologiques exposés dans les documents 2 et 3, indiquer les arguments qui justifient que :
 - le pétrole est une ressource fossile ;
 - la formation des nappes d'hydrocarbures exploitables nécessitent des conditions particulières ;
 - cette source d'énergie est dite « non renouvelable » ;

2. En utilisant les informations apportées par les documents 3 et 4, expliquer le rôle important des géologues dans la prospection de gisements d'hydrocarbures exploitables.

3. À partir des informations apportées par les documents 1 et 5, discuter des enjeux économiques et environnementaux d'une exploitation pétrolière dans le cas particulier du Bassin parisien.