

Académies de la Réunion 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.

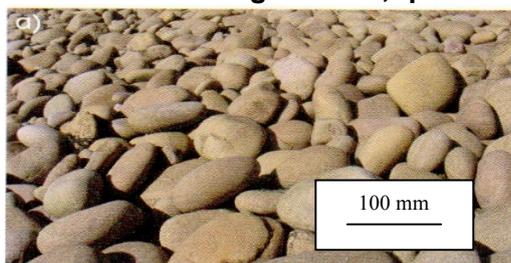
La calculatrice est autorisée.

Exercice 1 - LES GRANULATS, UNE RESSOURCE BETON ? Pas si sûr...

Les granulats représentent près de 60% des matières extraites du sous-sol français. En 2008, la production de granulats en France métropolitaine est estimée à 431 millions de tonnes, soit environ 7 tonnes par habitant. Elle a augmenté de 17 % en 10 ans. Les granulats représentent une ressource d'une importance comparable à celle de l'eau. Or si tous considèrent l'eau comme une denrée précieuse, nombreux sont ceux qui s'interrogent sur l'utilité d'une telle quantité de « cailloux ». Et pourtant, les granulats sont partout autour de nous. Leurs modes de production s'orientent vers une économie plus durable en recherchant une consommation plus raisonnée de cette matière première.

Question : après avoir expliqué en quoi les granulats constituent une ressource indispensable dont l'exploitation a évolué, montrer comment concilier cette exploitation avec la protection de l'environnement.

Document 1 : les granulats, qu'est-ce que c'est ?



Les granulats sont des morceaux de roches d'une taille comprise entre 0 et 125 mm, destinés à réaliser des ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment.

Les granulats peuvent être d'origine naturelle ou artificielle. La plupart sont d'origine naturelle et sont extraits en carrière.

On peut obtenir des granulats soit en exploitant directement les alluvions détritiques non consolidées de type sables et graviers de rivière (photo a), soit par concassage des roches massives comme les granites, les diorites, les basaltes, les grès, les calcaires (photo b).

Les professionnels distinguent donc trois catégories principales de granulats en fonction de leur origine :

- les granulats alluvionnaires : ce sont des roches meubles (non consolidées). Ces matériaux ont généralement été déposés par les cours d'eau, les glaciers, ou bien ils se sont déposés sur les fonds marins peu profonds. Le gisement le plus habituel est celui du lit, ou de l'ancien lit, d'un cours d'eau. Les matériaux étant non consolidés, leur extraction est plus aisée que pour les granulats de roches massives.

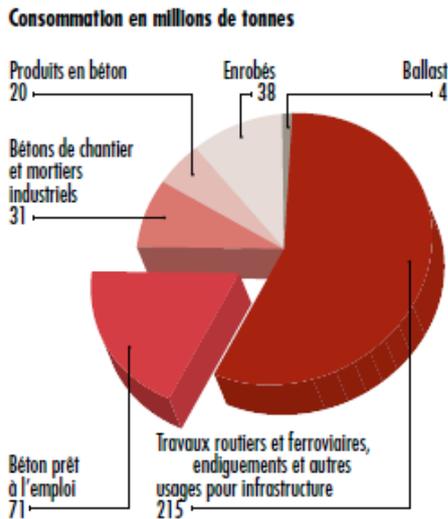
- les granulats de roches massives : ils proviennent des carrières de roches magmatiques (les granites, diorites, basaltes,...) ou sédimentaires (calcaires, grès,...) inégalement réparties sur l'ensemble du territoire. La carrière peut être implantée en plaine, sur un plateau, en montagne, au bord d'une falaise... L'exploitation nécessite généralement l'utilisation d'explosifs.

- les granulats de recyclage et artificiels : depuis quelques années, on produit des granulats de recyclage en concassant des matériaux de démolition des bâtiments ou des chaussées (béton, pierre de taille, ...) et des sous-produits de l'industrie : schistes provenant des crassiers des anciennes mines de charbon, laitiers de haut fourneaux, mâchefers provenant de l'incinération des déchets urbains...

Texte modifié d'après la plaquette « GRANULATS : Géologie – Industrie – Environnement » UNPG 2005.

Photographies extraites de la Revue du Palais de la découverte n°385, p 13, Mars-Avril 2013.

Document 2 : les granulats, pour quoi faire ?



Le **ballast** est une couche de pierres concassées qui maintient les traverses d'une voie ferrée. Un **enrobé** est un mélange de graviers, sable et de liant hydrocarboné (appelé couramment goudron ou bitume) appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer la chaussée des routes

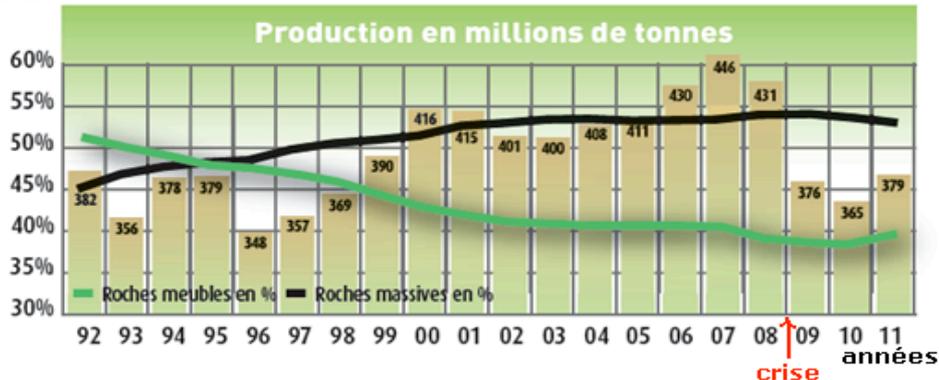
Livre blanc : carrière et granulats à l'horizon 2030. UNPG. Sources UNICEM – Données 2009

Document 3 : la consommation de granulats pour différentes constructions

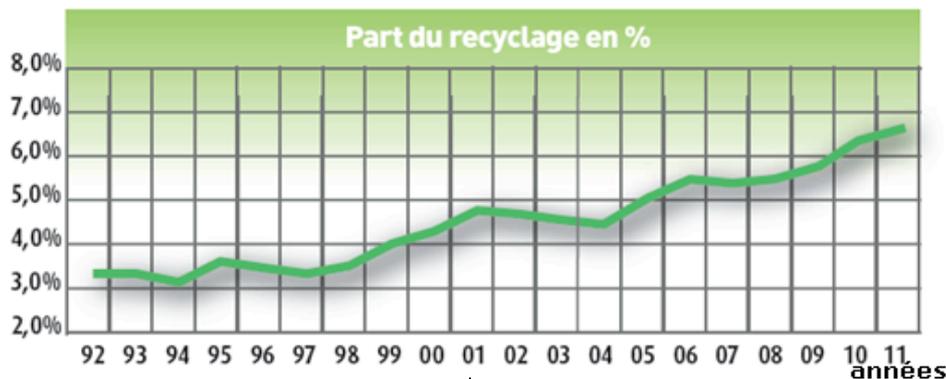
Infrastructure	Quantité de granulats nécessaires en tonnes
1 mètre cube de béton	2
Une maison	100 à 300
Un lycée ou un hôpital	2 000 à 4 000
1 km de voie ferrée	16 000
1 km d'autoroute	30 000

Extrait de la Revue du Palais de la découverte n°385 de Mars-Avril 2013, p 14

Document 4 : évolution au cours du temps de la production de granulats en fonction de la source d'approvisionnement

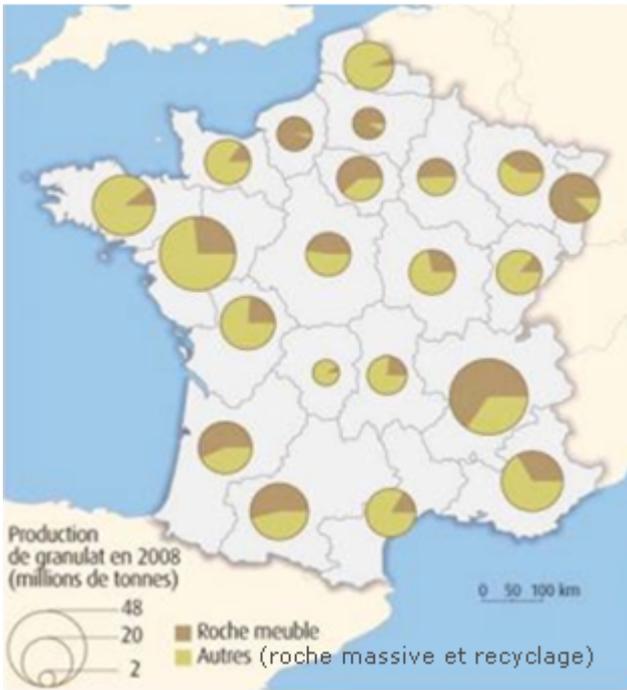


Les histogrammes correspondent à la production totale de granulats (granulats de roches massives, alluvionnaires et recyclés)



(L'industrie française des granulats en 2011. UNICEM-UNPG)

Document 5 : quantités de granulats produites par région en 2008



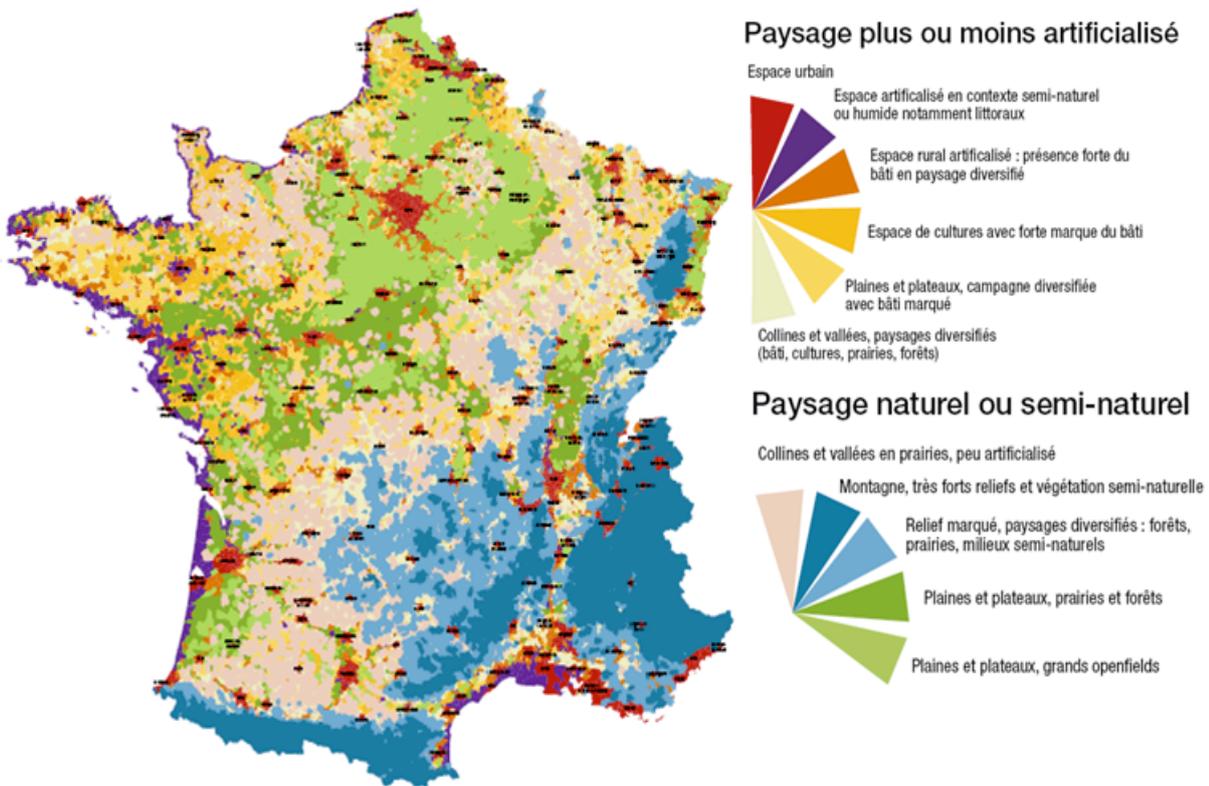
Service de l'observation et des statistiques d'après Unicem

Document 6 : consommation annuelle moyenne de la région Ile de France en millions de tonnes



Granulats en Ile de France. Panorama régional. 2008.

Document 7 : urbanisation du territoire français en 2008



www.datar.gouv.fr

Document 8 : carrière et impact sur le paysage

a) Une carrière de granulats de roches massives en exploitation



Photographie : Formation au BTS Géologie Appliquée

FT : front de taille (lieu actuel ou passé d'abattage de la roche à l'explosif)

Bassin de décantation : lors du traitement des granulats, ils peuvent être lavés. Cette eau de lavage ne peut pas être rejetée car elle contient des matières en suspension (argiles). Elle est stockée de manière transitoire dans le bassin de décantation.

b) Un exemple de réaménagement de carrière de granulats de roches massives



Depuis 1993, les carrières deviennent des « installations classées pour la protection de l'environnement » (ICPE). Il faut alors les remettre en état une fois l'exploitation des granulats terminée

Thèse de Thomas Martaud, L'évaluation environnementale de la production de granulats naturels en exploitation de carrière. Indicateurs, modèles et outils. 22 octobre 2008.

Document 9 : extraction de granulats alluvionnaires à la pelle hydraulique



L'extraction des granulats alluvionnaires se fait à la pelle hydraulique pour les gisements de faible épaisseur. Au sein de ces alluvions se trouve une nappe alluviale qui peut par ailleurs alimenter la population en eau.

Depuis 1994, la protection de l'eau devient une priorité et le prélèvement d'alluvions se fait plus rare.

Photographie : Formation au BTS Géologie Appliquée

Document 10 : tir de mine et sa surveillance pour l'extraction des granulats de roches massives



Les tirs de mines ne doivent pas être à l'origine de vibrations susceptibles d'engendrer dans les constructions avoisinantes des vitesses pondérées supérieures à 10 mm/s mesurées. Les fréquences ressenties durant le tir sont aussi importantes. En effet, la fréquence de résonance des bâtiments se situe entre 8 Hz et 11 Hz. Il faut donc éviter cette plage de fréquences pour empêcher les constructions d'entrer en résonance et prévenir d'éventuels dégâts.

Photographies et textes: Formation au BTS Géologie Appliquée.

Document 11 : le transport des granulats : comparaison de l'importance des différents modes de transport pour les granulats et de leur coût

Mode de transport		Importance du mode de transport	Coût
Route		93%	21 €/tonne
Voie d'eau	Grand gabarit	4%	12 €/tonne
	Petit gabarit		17 €/tonne
Voie ferrée		3%	22 €/tonne

Les coûts indiqués correspondent au coût moyen de transport d'une tonne sur 350 km et comprennent le pré et le post-acheminement pour le transport par voie d'eau et par voie ferrée. Si la tonne de granulats ne coûte qu'entre 5 et 10 euros, le transport par la route fait doubler ce prix tous les 30 km. Ce dernier consomme du carburant, énergie fossile qui émet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et d'autres polluants.

Granulats en Ile de France. Panorama régional. 2008. <http://a136.idata.over-blog.com/500x374/3/90/58/51/Environnement/Ressources/eau/VNF-Lafarge.jpg>

Exercice 2 - L'origine de la Lune

Photo de la banque nationale
Observatoire de St Michel (04)
Nuit du 3 au 4 avril 2009
Julien Pellegrino



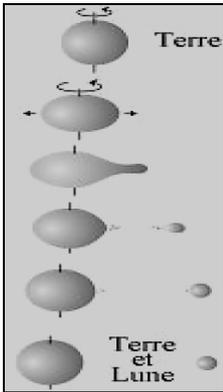
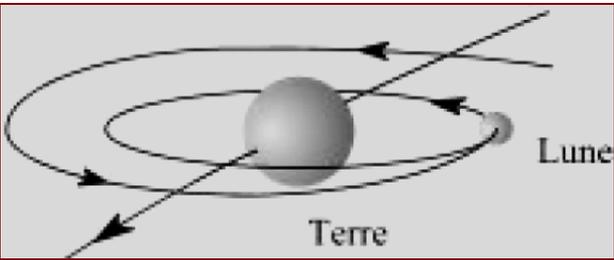
Le système solaire s'est formé il y a 4,55 milliards d'années : des particules issues d'une supernova donnent naissance au Soleil, aux planètes et à leur(s) satellite(s). La Lune qui est âgée de 4,49 milliards d'années apparaît dans ce contexte.

Questions :

1. Exploiter les documents 1 à 3 pour montrer, qu'au regard des informations déjà connues, ou acquises à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} siècle, aucune des hypothèses classiques expliquant l'origine d'un satellite (document de référence A) ne peut être recevable pour expliquer la formation de la Lune.
2. Exploiter les éléments recueillis au cours de l'ensemble des missions lunaires (documents 1 à 4) pour montrer en quoi l'hypothèse de l'impact géant (document de référence B) correspond davantage aux données, et discuter de la validité des variantes proposées.

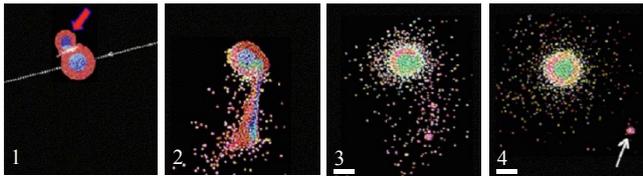
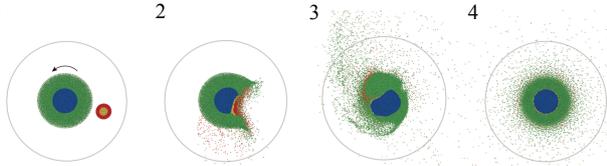
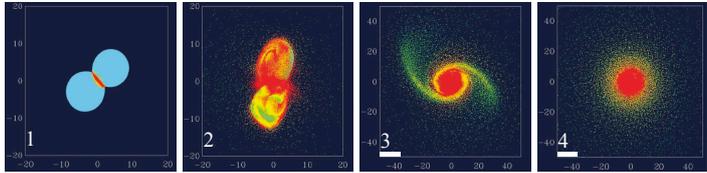
NB : lexique astronomique en page 11

Document de référence A : hypothèses classiques expliquant la formation de la Lune

Hypothèses	Conséquences vérifiables
<p>La fission :</p> <p>George Darwin (1845–1912), proposa que la Lune soit un morceau de la Terre. En rotation très rapide lors de sa formation, la force centrifuge aurait arraché un morceau de la surface terrestre, morceau qui se mit en orbite autour de la Terre.</p>  <p>http://phil.ae.free.fr/</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'orbite de la Lune doit être dans le plan de l'équateur terrestre. • D'après les lois de la mécanique, éloignement de la Lune et ralentissement de la rotation terrestre vont de pair. La période de rotation de la Terre diminuant encore de nos jours, la Lune doit encore s'éloigner. • La Lune provenant de la Terre, leurs matériaux et leur composition devraient souligner cette proximité.
<p>La formation simultanée :</p> <p>Édouard Roche propose en 1873 que lors du processus d'accrétion à l'origine des planètes telluriques, une grosse masse de poussières se soit agglomérée pour former la Terre et qu'une plus petite se soit accrétée dans son voisinage pour former la Lune.</p> <p>http://phil.ae.free.fr/</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Accrétées dans le même secteur du système solaire à partir des mêmes poussières, Terre et Lune devraient avoir des compositions chimiques très proches, y compris en concentration, et donc la même masse volumique.
<p>La capture gravitationnelle :</p> <p>Thomas Jefferson Jackson See propose en 1909 qu'un corps du système solaire aurait fait route vers la Terre et que, capturé par sa gravité, il se serait mis en orbite autour d'elle.</p>  <p>http://phil.ae.free.fr/</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Des calculs de mécanique céleste montrent que pour que cette capture soit possible, il faudrait que les deux orbites aient été très voisines. Orbites voisines, cela signifie que le corps capturé se serait accrété à la même distance du Soleil que la Terre et donc avoir des compositions chimiques très proches en concentration, et donc la même masse volumique, la même densité... • L'inclinaison de l'orbite n'est pas forcément dans le plan de l'écliptique ou de l'équateur (elle dépendrait du déplacement de l'astre au moment de sa capture).

Document de référence B : l'hypothèse d'un impact géant

La Lune serait le résultat d'un impact entre deux planètes : la Terre (déjà différenciée – noyau de fer et nickel, manteau silicaté) et Théia (gros corps qui aurait orbité aussi dans le plan de l'écliptique).

<p align="center">Variantes de cette hypothèse (appuyées chacune par une modélisation mathématique)</p>	<p align="center">Conséquences vérifiables</p>
<p><u>Hypothèse dite du « Big Splat » :</u> Le choc (1) aurait presque complètement fragmenté Théia (de la taille de Mars, flèche rouge) et aurait arraché de gros fragments de manteau terrestre (2). Le noyau de Théia serait "parti" au loin dans le système solaire, ou aurait chuté sur la Terre et s'y serait incorporé. Des fragments des manteaux de Théia et de la Terre, portés à très haute température par le choc, auraient été mis en orbite autour de la Terre (3), se seraient accrétés et auraient formé la Lune, à une distance assez proche de la Terre (plus proche que maintenant, flèche blanche - 4).</p>  <p>D'après Alastair Cameron, Université de Harvard, modifié et redimensionné</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La composition chimique de la Lune devrait être proche mais différer un peu de celle de la Terre car une bonne partie des roches de notre satellite devrait provenir du matériau initial de Théia, qui se serait formée dans une autre zone du système solaire. • Les fragments des manteaux de Théia et de la Terre, portés à très haute température par le choc, devraient avoir perdu leurs éléments les plus légers, volatils, et s'être enrichis en éléments les plus lourds. • La Lune issue de l'accrétion de ce matériel devrait être en orbite autour de la Terre dans le un plan proche de l'écliptique.
<p><u>Hypothèse de Cuk Matija et Sarah T. Stewart (2012) :</u> Théia (en rouge) qui aurait été beaucoup plus légère et moins massive que Mars, serait entrée en collision avec la Terre à très haute vitesse (1). Le choc aurait arraché de gros débris d'origine mantellique à la Terre (2). Dans ce modèle, Théia se serait incorporée à la Terre (3). Les débris auraient formé un disque (4) puis se seraient accrétés pour former la Lune, à une distance assez proche de la Terre (plus proche que maintenant).</p>  <p>Code couleur : bleu et jaune : noyaux, vert et rouge : manteaux Science, november 2012</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Des calculs de mécanique céleste montrent qu'un tel choc nécessite une période de rotation pour la Terre de 2,5 heures seulement au moment du choc. • La composition chimique de la Lune et celle de la Terre doivent être très proches car les deux astres sont issus des mêmes matériaux (proportionnellement Théia aurait apporté peu de matériaux). • La Lune devrait être appauvrie en éléments légers, volatils, et enrichie en éléments les plus lourds. • La Lune devrait être en orbite autour de la Terre dans un plan proche de l'écliptique.
<p><u>Hypothèse de Robin Canup (2012) :</u> Théia aurait été beaucoup plus volumineuse, presque de la taille de la Terre, et les deux corps se seraient impactés à faible vitesse (1). Dans les 27 heures suivant le premier contact, les deux astres auraient alors fusionnés en un seul (2), formant ainsi une masse terrestre, entourée de roches proto-lunaires pulvérisées (3 et 4).</p>  <p>Crédit photographiques : Image courtesy of Southwest Research Institute Simplifié</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Un tel choc nécessite une période de rotation de 2,3 heures seulement au moment du choc. • Dans un impact quasi symétrique, le disque de fragments qui se forme a environ la moitié de sa masse provenant de l'impacteur et la moitié de sa masse provenant de la cible. C'est la même chose pour la planète nouvellement formée. Même si l'impacteur et la cible avaient à l'origine des compositions très différentes, ils se mélangent uniformément, ainsi la planète finale et le disque donnant la Lune devraient avoir la même composition en concentration. • La Lune devrait être appauvrie en éléments légers, volatils, et enrichie en éléments les plus lourds d'origine mantellique. • La Lune devrait être en orbite autour de la Terre dans un plan proche de l'écliptique.

Document 1 : caractéristiques orbitales et physiques de la Terre et de la Lune

	Distance moyenne au Soleil (en UA)	Durée de révolution		Inclinaison de l'orbite		Période de rotation sur elle-même	Diamètre équatorial (en km)	Masse volumique moyenne (en g.cm ⁻³)
		autour du Soleil (en année terrestre)	autour de la planète (en jour)	sur l'écliptique (en degré)	sur le plan de l'équateur terrestre (en degré)			
Terre	1	1	-	0,00°	-	23 h 56 min	12796	5,52
Lune	1	-	27,32*	5,14° *	18 à 29*	27,32 j	3476	3,35*

D'après *Sciences de la vie et de la Terre* de Brahic et al, Vuibert sauf données munies d'un astérisque

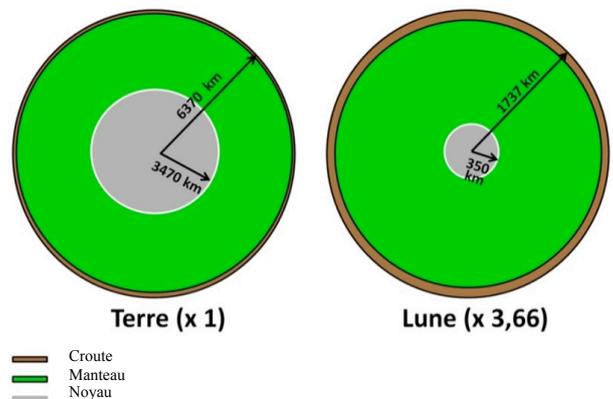
Document 2 : vitesse de rotation terrestre et distance Terre-Lune

- On sait depuis Newton que la Lune est à l'origine des marées sur Terre. Ces marées, sources de frictions entre les masses océaniques et leur substrat rocheux ralentissent la rotation de la Terre sur elle-même.
- Si on suppose que la Lune provient de la Terre, des calculs montrent qu'au moment de la séparation de la Lune, la Terre devait tourner au moins 5 fois plus vite sur elle-même : les jours n'auraient eu à l'époque que 5 heures !
- D'après deux astronomes, Matija Cuk, du SETI Institute, en Californie, et sa collègue Sarah Stewart, de l'université Harvard, on aurait sous-estimé un phénomène déjà connu et présent après l'impact : les forces de marée du Soleil sur la Lune. Ces dernières auraient freiné la Terre de manière très efficace. Dans leur modèle, la période de rotation de la Terre aurait été de 2,5 heures seulement au moment de sa formation.
- Au-dessous de 2 heures, la force centrifuge la ferait éclater.
- Entre 1969 et 1973, lors des missions Apollo, cinq réflecteurs laser ont été déposés sur la Lune. En plaçant un puissant laser au foyer d'un télescope et en visant l'un de ces réflecteurs, on peut mesurer avec précision le temps aller-retour de la lumière puis calculer la distance Terre-Lune avec une précision centimétrique. Cette mesure a été renouvelée régulièrement depuis 1969 : la distance Terre-Lune s'accroît en moyenne de 3 à 5 cm.an⁻¹.

Document 3 : structure interne et composition minéralogique de la Terre et de la Lune

La masse volumique de la Lune est voisine de celle des roches silicatées observables à la surface de la Terre, et bien inférieure à celle du noyau dense que l'on sait exister au centre de la Terre.

		Croûte	Manteau	Noyau
Terre	Composition	Roches silicatées peu denses (granite, basalte gabbro)	Roches silicatées riches en minéraux ferro-magnésiens (péridotite)	Fer et nickel
	Proportion en % du rayon	0,3 %	79,7 %	20 %
Lune	Composition	Roches silicatées peu denses (basalte, anorthosite)	Roches silicatées riches en minéraux ferro-magnésiens (péridotite)	Fer et nickel
	Proportion en % du rayon	4,6 %	41,4 %	54 %



- les deux corps ont été représentés avec la même taille pour faciliter les comparaisons (la taille de la Lune a été multipliée par 3,66 par rapport à la Terre) ;
- seules ont été représentées les limites chimiques et minéralogiques.

2012 Pierre Thomas

Document 4 : les apports des compositions isotopiques

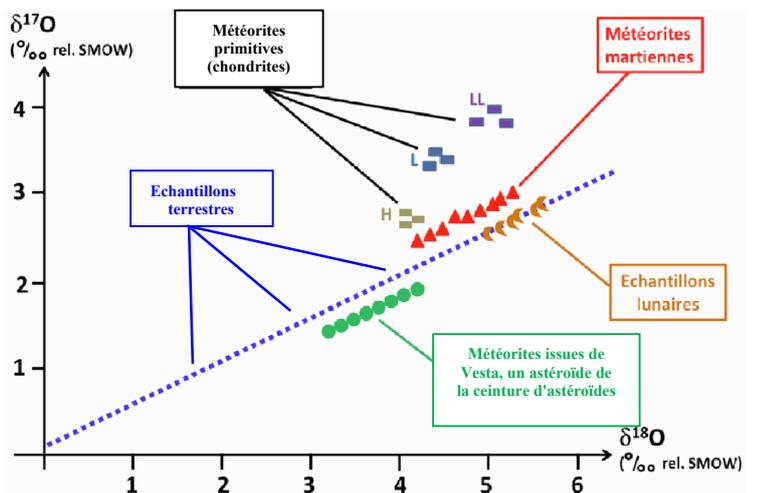
Chaque élément chimique (A_ZX) possède des isotopes caractérisés par des nombres de masse (A) différents. Ces isotopes sont en proportions variées. La composition isotopique ou proportion relative de chaque isotope (dans un échantillon de roche par exemple) se mesure en unité δ , qui représente dans l'échantillon le rapport isotope lourd / isotope le plus léger, rapporté à un standard en ‰. Des valeurs positives représentent respectivement un enrichissement en l'isotope lourd par rapport à l'isotope léger, par rapport à ce qu'on trouve dans le rapport d'un standard.

➤ 4a. Composition isotopique de l'oxygène de divers échantillons de roches provenant de Terre, Lune et diverses météorites.

L'élément oxygène possède trois isotopes : ${}^{16}_8O$, ${}^{17}_8O$, ${}^{18}_8O$.

Dans le diagramme ci-contre, tous les échantillons issus d'un même "réservoir", c'est-à-dire provenant de la même zone de la nébuleuse proto-solaire, se situent sur une même droite de pente 1/2. Les échantillons se situant sur deux droites distinctes proviennent de deux réservoirs distincts, c'est-à-dire proviennent de deux zones différentes de la nébuleuse proto-solaire. La droite bleue en pointillés représente la totalité des échantillons naturels terrestres.

D'après - © 2012 compilation Pierre Thomas

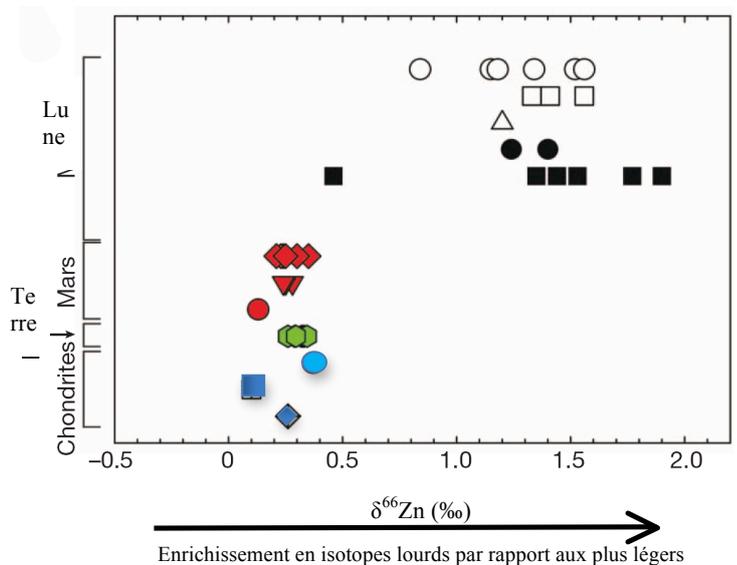


➤ 4b. Composition isotopique du zinc de divers échantillons de Terre, Lune, Mars et de chondrites

Le zinc est un élément faiblement présent dans les roches de planètes rocheuses provenant de la nébuleuse proto-solaire mais il est intéressant par les propriétés de ses nombreux isotopes ${}^{64}Zn$, ${}^{66}Zn$, ${}^{67}Zn$, ${}^{68}Zn$... En particulier, le zinc est d'autant plus volatil que ses isotopes sont légers. De ce fait, quand un processus de pulvérisation affecte les roches, en particulier à forte température, celles-ci s'enrichissent en isotopes les plus lourds.

Le graphe ci-contre présente la variation du rapport $\delta^{66}Zn$ dans des roches terrestres (en vert), martiennes (en rouge) et lunaires (en blanc et noir selon la provenance) et des chondrites (en bleu).

D'après ©Nature, vol 490, 18 octobre 2012



Lexique :

Plan de l'écliptique : plan géométrique passant par le centre du soleil contenant l'orbite de la Terre.

Rotation : mouvement que réalise un corps céleste sur lui-même.

Révolution : mouvement que réalise un corps céleste autour d'un autre corps.

Force centrifuge : force subie par un corps en révolution qui l'entraîne à l'extérieur de son orbite

Chondrite : météorites les plus primitives contemporaines de la formation du système solaire, elles représentent 87 % des chutes. Ce sont des agrégats qui contiennent de petites sphères appelées chondres de composition voisine du Soleil (exceptés H, He).

Exercice 3 : Un projet d'exploitation géothermique en Alsace

La géothermie est une technique consistant à exploiter l'énergie thermique, véhiculée par les fluides circulant dans les roches du sous-sol. Cette énergie est produite par les éléments radioactifs contenus dans les roches. À très long terme, elle est inépuisable. C'est pourquoi elle est qualifiée d'énergie renouvelable.

L'objectif de cet exercice est d'évaluer le potentiel d'exploitation géothermique de roches sédimentaires situées entre 1000 et 1400 m de profondeur dans le fossé rhénan, en Alsace. L'exploration d'un ancien forage pétrolier situé à Pechelbronn, nommé EPS1, a permis de collecter des données sur ces roches.

Question :

À partir de l'exploitation des documents 1 à 3, vous expliquerez pourquoi la région de Pechelbronn est un bon candidat à la prospection géothermique.

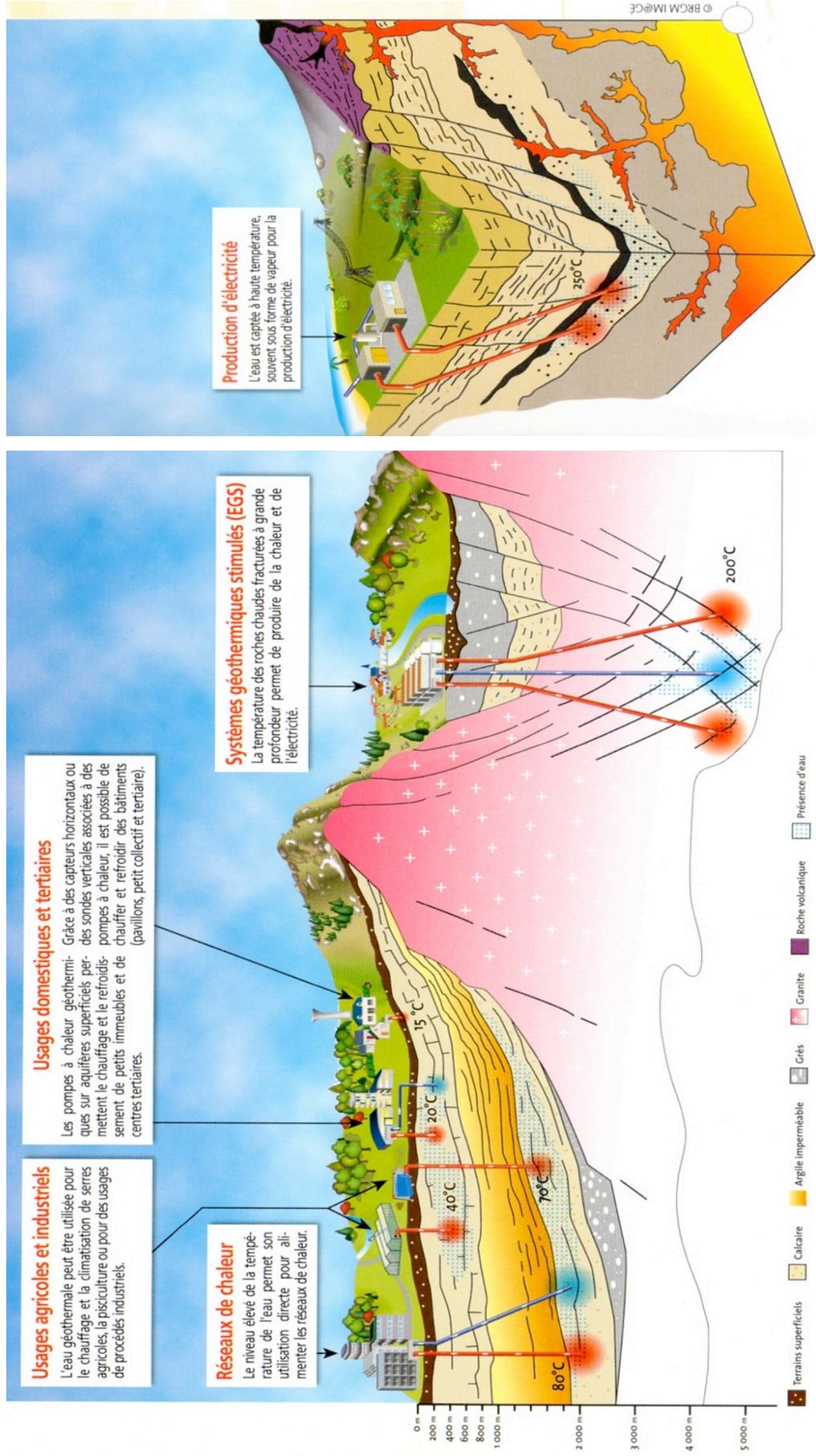
Votre réponse devra être la plus complète possible et argumentée. Elle inclura :

1. la détermination du gradient géothermique moyen entre 1010 m et 1400 m de profondeur.
2. la construction d'un tableau à double entrée :
 - 2.1. classant les zones A à F du document 3 en trois catégories : zones à potentiel « faible à nul », zones à potentiel « moyen » et zones à potentiel « moyen à fort » pour le prélèvement de fluides chauds.
 - 2.2. classant le type de perméabilité des zones à potentiel « moyen » et des zones à potentiel « moyen à fort » ;
 - 2.3. précisant pour chacune des zones A à F du document 3 l'utilisation possible des fluides qui pourraient être prélevés.

Document de référence - Utilisations possibles de l'énergie géothermique en fonction du contexte géodynamique

L'utilisation de l'énergie géothermique dépend de la température des fluides prélevés. En dessous de 30°C, ces fluides permettent le chauffage et la climatisation des maisons individuelles, si l'on adjoint une pompe à chaleur. Entre 30°C et 90°C, ils peuvent être utilisés pour le chauffage collectif. Des entrées géothermiques situées dans les bassins sédimentaires parisiens et aquitain exploitent de tels fluides stockés dans les couches sédimentaires. Au-delà de 90°C, ces fluides permettent la production d'électricité. Ce type d'exploitation est notamment possible dans les zones à activité magmatique : une centrale de Bouillante en Guadeloupe, mise en service en 1986, est la première centrale géothermique française produisant de l'électricité.

de géosciences – session 2014

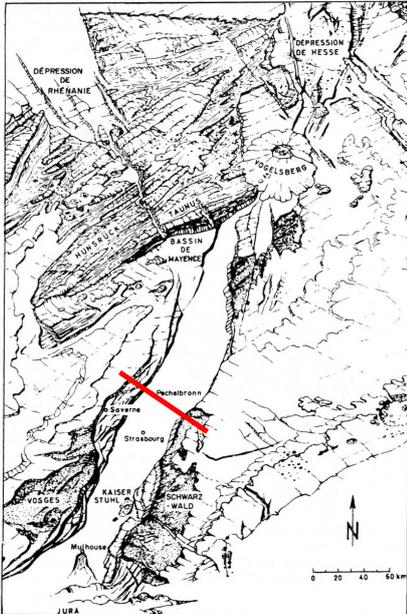


a géothermie. Quelles technologies pour quels usages ? coll. Les enjeux des géosciences, ADEME, BRGM, 2008

Document 1 : température sous le fossé rhénan et localisation du forage de Pechelbronn

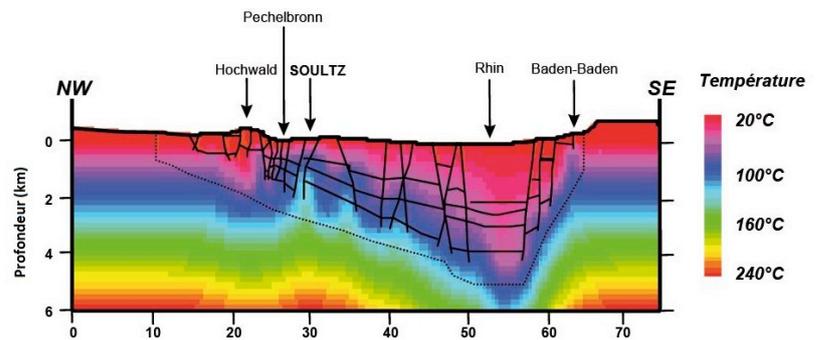
1a. Vue cavalière du fossé rhénan et localisation de la coupe

(D'après *Les grandes structures géologiques*, Debelmas et Mascle, Dunod, 2000, p.52)



1b. Vue en coupe du fossé rhénan

Les traits noirs indiquent les nombreuses failles présentes dans la région. (D'après Le Carlier de Veslud *et al.* 1994)



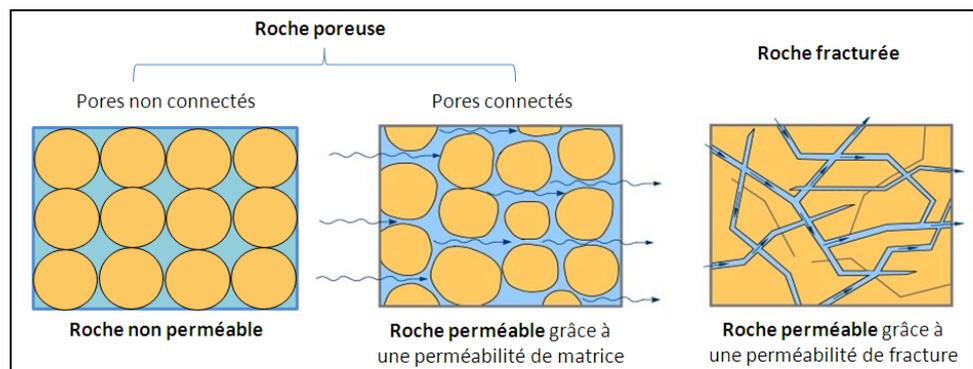
L'évolution de la température en fonction de la profondeur est appelée géotherme. À partir de ce géotherme, on peut calculer le gradient géothermique, c'est-à-dire la variation de la température sur une distance donnée. Le gradient géothermique continental moyen (ou gradient de température théorique) est de $30^{\circ}\text{C.km}^{-1}$.

Document 2 : critères recherchés permettant d'identifier un réservoir géothermique

Texte : Adapté d'Haffen, *Caractéristiques géothermiques du réservoir gréseux du Buntsandstein d'Alsace*, Thèse, 2012.

Figure : Adapté de <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/eau.ds.roches.html>

La présence de fluides dans les roches du sous-sol n'est pas un critère suffisant pour envisager une exploitation géothermique. Ces fluides doivent y circuler, de façon à pouvoir les prélever. Cela n'est possible que si les roches sont "perméables".



La perméabilité d'une roche, c'est-à-dire sa capacité à laisser circuler un fluide dans son espace poreux (espace entre les grains), dépend de sa fracturation (on parle de perméabilité de fracturation), mais aussi de l'organisation des grains qui la constituent (on parle alors de perméabilité de matrice). Ces perméabilités sont déterminées au laboratoire à partir des échantillons récoltés dans le forage.

La présence de fluides circulants dans les roches perméables peut être suspectée en comparant le gradient de température théorique au gradient de température réel.

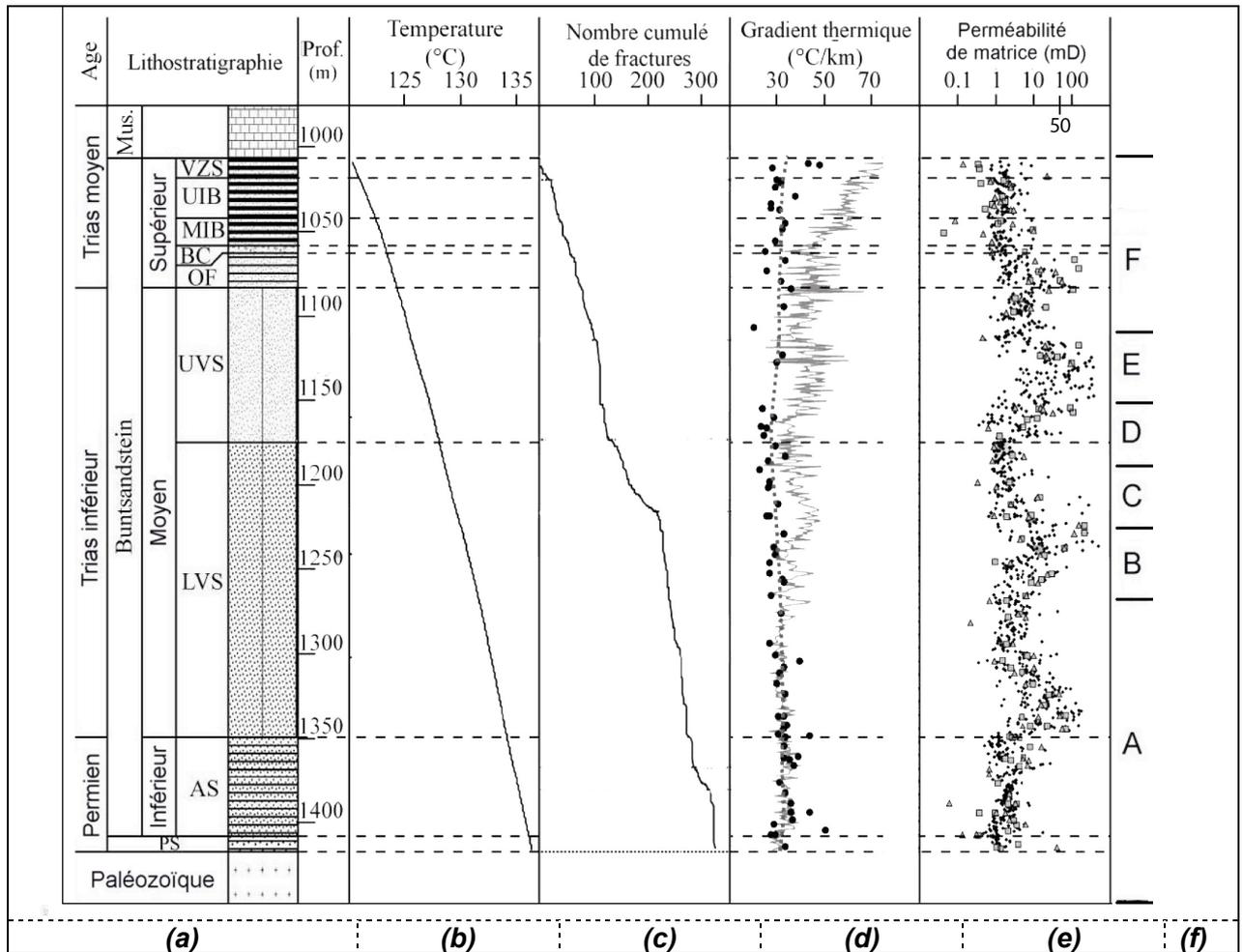
Si à une profondeur donnée les deux gradients sont identiques, alors aucun fluide chaud ne circule.

En revanche, si le gradient réel est supérieur au gradient théorique, alors la circulation de fluides chauds peut être suspectée.

Ainsi, la détermination d'un gradient anormalement élevé est un bon indice de la présence de fluides circulants et chauds.

Document 3 : le forage EPS1 à Sultz-Sous-Forêts

(Adapté d'Haffen, *Caractéristiques géothermiques du réservoir gréseux du Buntsandstein d'Alsace*, Thèse, 2012, p. 200)



a) Lithostratigraphie des grès du Buntsandstein du forage EPS1

La colonne indique la nature des roches du forage en fonction de leur profondeur (Prof.) en mètres (Mus. : Muschelkalk, VZS : Grès à Voltzia, UIB : Couches Intermédiaires supérieures, MIB : Couches Intermédiaires moyennes, BC : Conglomérat de Bitche, OF : Obere Felsone, UVS : Grès Vosgiens Supérieurs, LVS : Grès Vosgiens Inférieurs, AS : Grès d'Annweiler, PS : Grès Permien).

b) Profil de température mesurée à différentes profondeurs du puits.

c) Profil du nombre cumulé de fractures traversant le forage EPS1. Le nombre cumulé de fractures correspond au nombre total de fractures entre 1010 m de profondeur et la profondeur donnée. Ce nombre permet d'estimer la perméabilité de fracture de la roche.

d) Gradients de température : la ligne grise indique les gradients de température réels, déterminés à partir du profil de température mesurée (c), les cercles noirs indiquent les gradients de température théoriques, à partir desquels est construite la ligne en pointillés (courbe du gradient de température théorique).

e) Mesures de perméabilité de matrice. Elle est exprimée en milli-Darcy (mD), une unité qui correspond à la dimension d'une surface traversée par un fluide dans des conditions physico-chimiques rigoureusement calibrées. Classification des perméabilités : <15 mD : faible à nulle ; 15-50 mD : modérée ; 50-250 mD : bonne ; > 250 mD : très bonne à excellente.

f) Différentes zones du forage.