

SESSION 2009

**ACADEMIES DE
BORDEAUX,
CLERMONT-FERRAND,
LIMOGES, POITIERS,
TOULOUSE**

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.

La page 11 est 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 ?

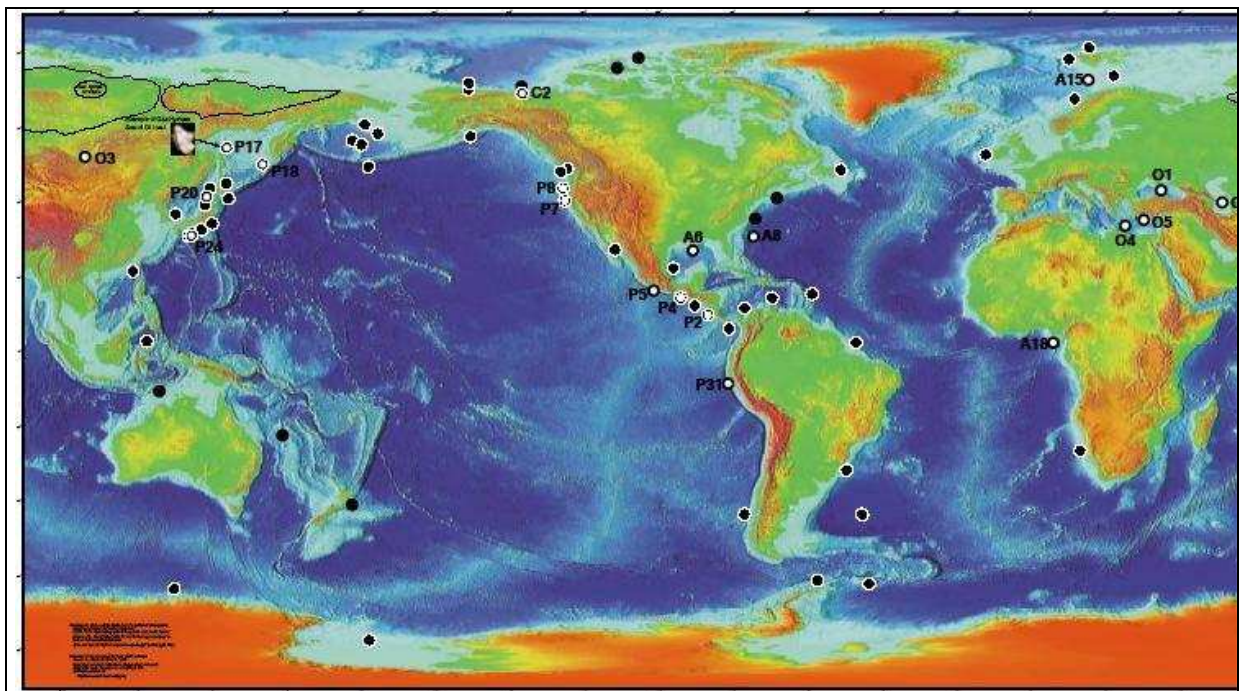
Le méthane résulte de la décomposition, à l'abri de l'oxygène de l'air, de débris animaux et végétaux (essentiellement du zooplancton et du phytoplancton) qui précipitent sur le plancher des océans. Une fois formé, le méthane peut partir rapidement dans l'atmosphère, ou, dans des conditions particulières 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

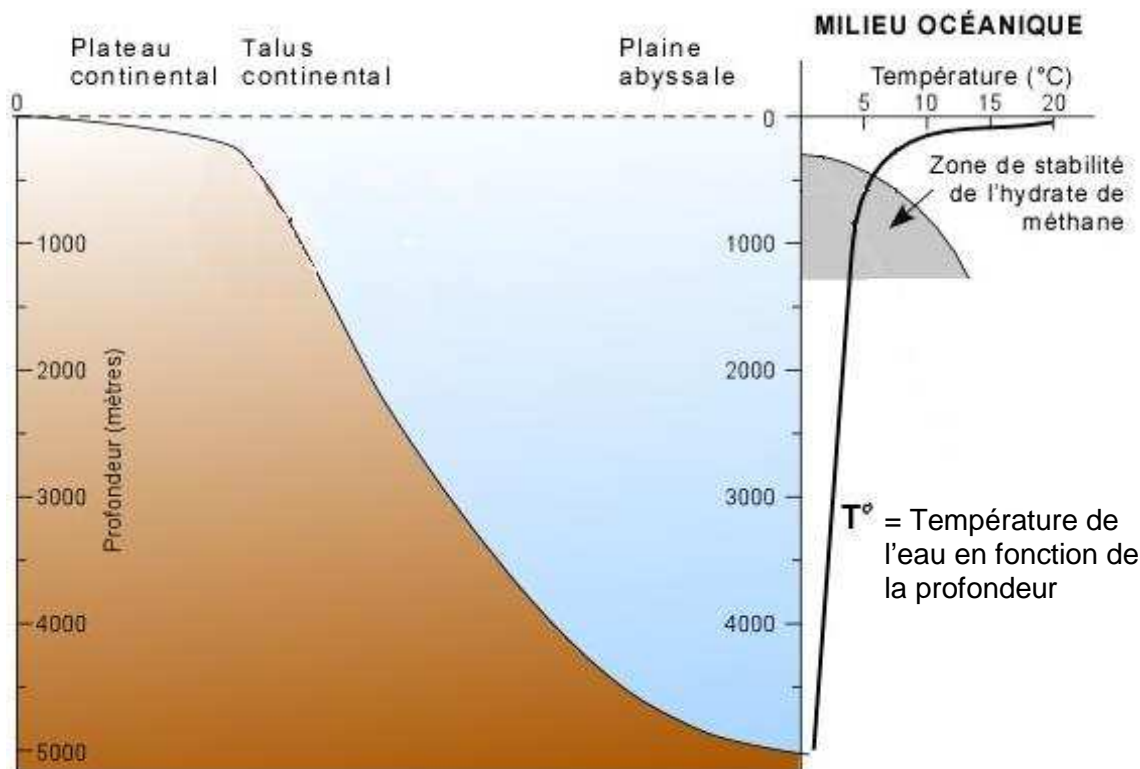
Document 2 : localisation des hydrates de méthane

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



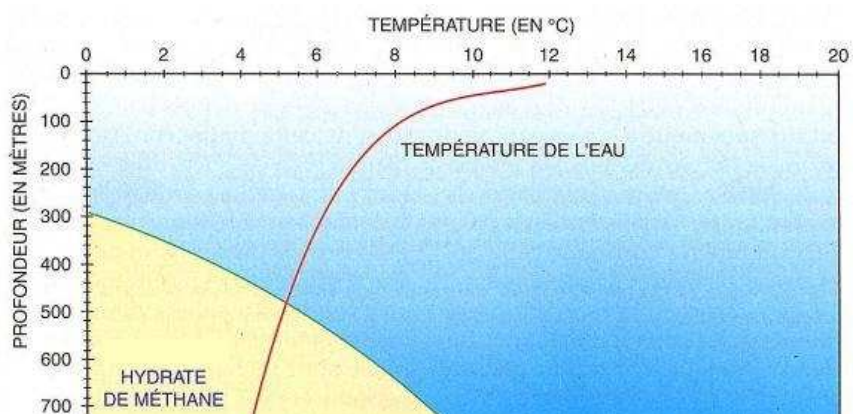
D'après Bourques - Université de Laval Canada

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>

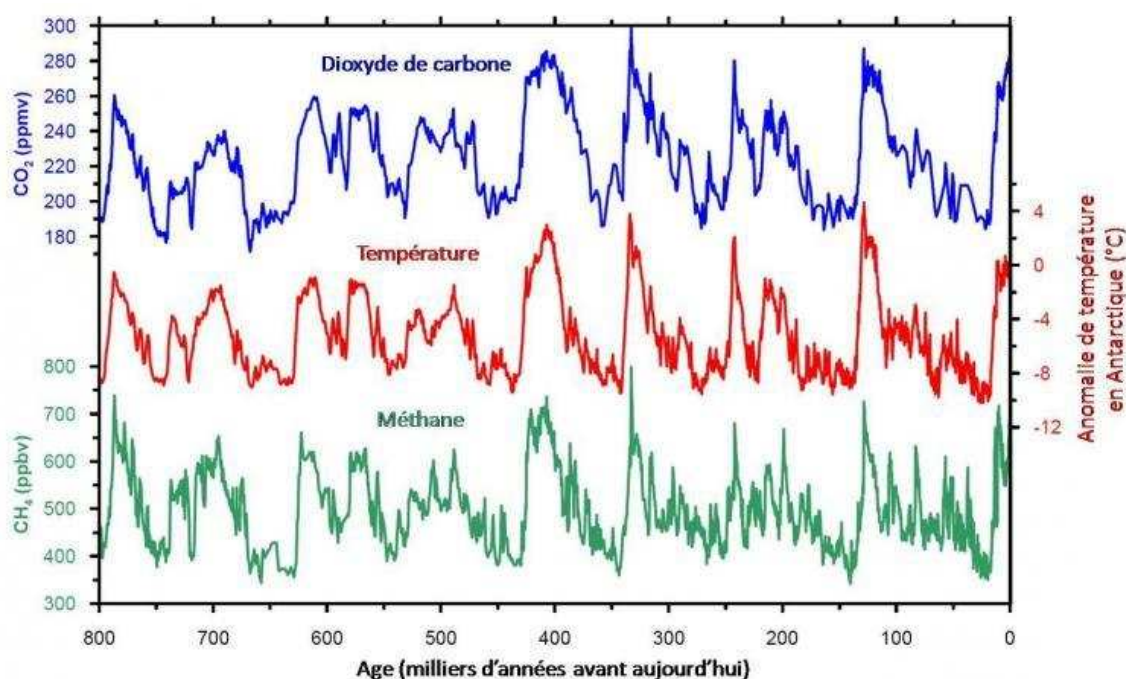
Document 5 : diagramme de stabilité des hydrates de méthane



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.

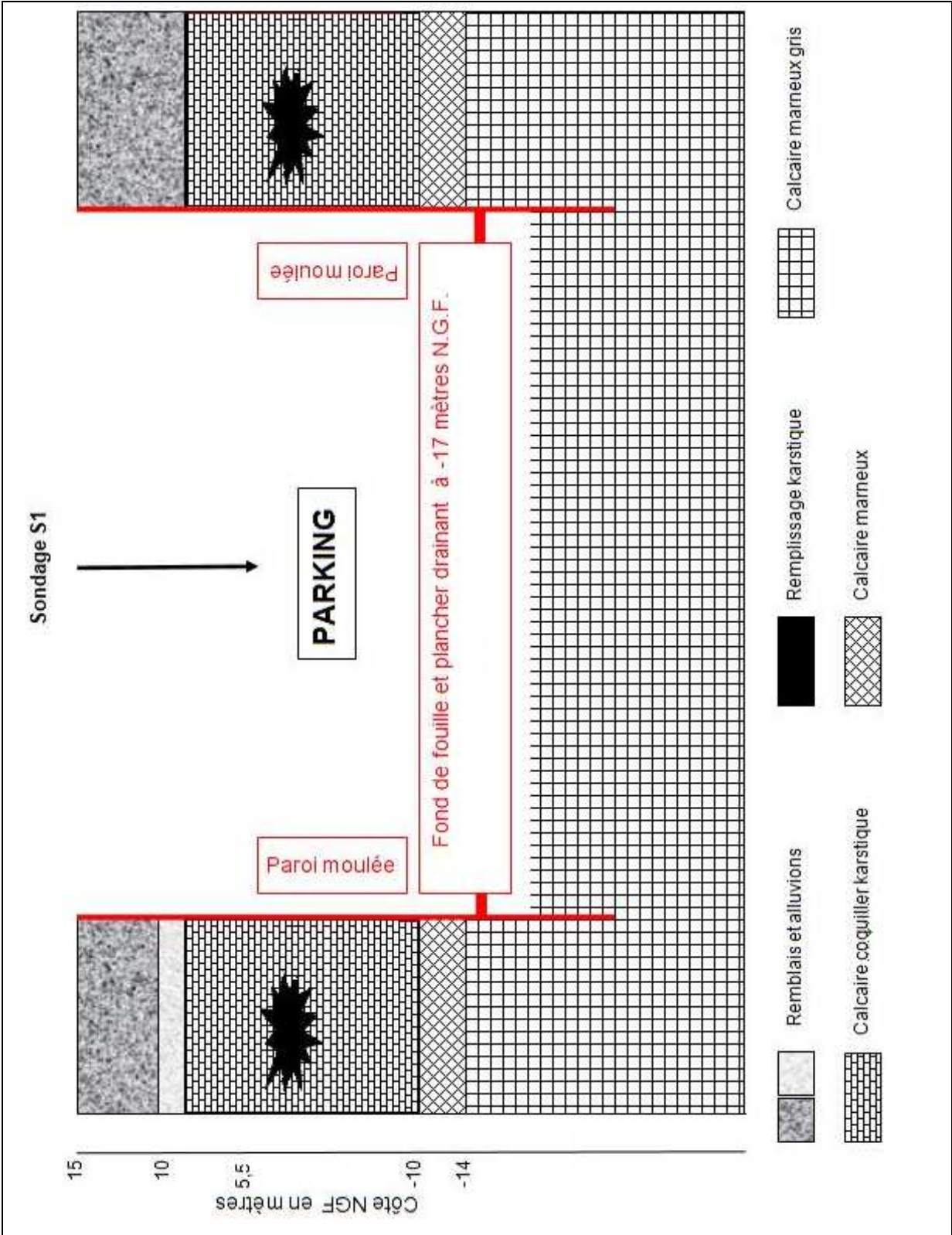
Cette étude a porté sur plusieurs points : la reconnaissance de la nature des roches du sous sol, leurs caractéristiques mécaniques et l'étude hydrogéologique du lieu.

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.**

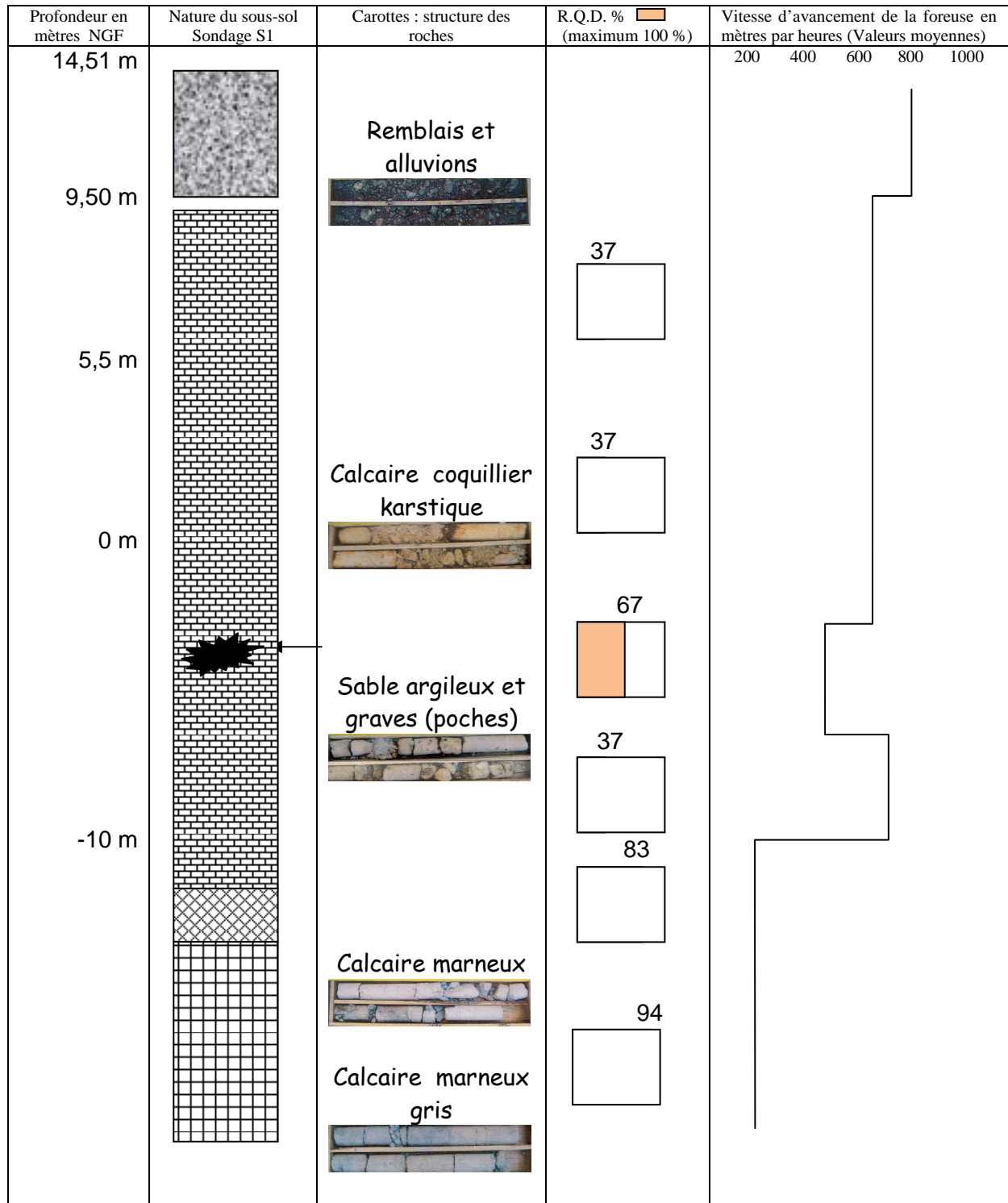
Document 1 : Projet



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 coquillier peu marneux cohérent. Avec présence de marnes, roche homogène, peu perméable, non altérée et non karstifiée.

Document 4 : caractéristiques hydrodynamiques

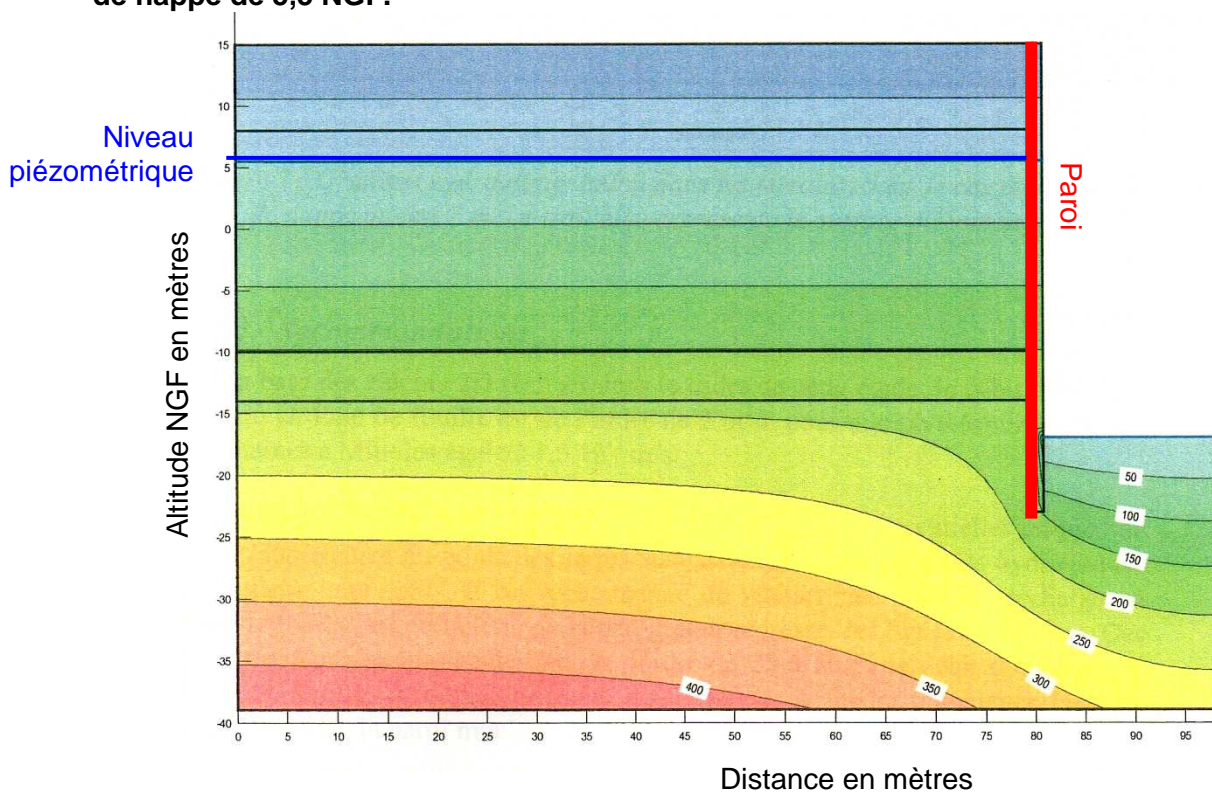
4 a : contexte hydrogéologique, par référence aux données du sondage S1

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.



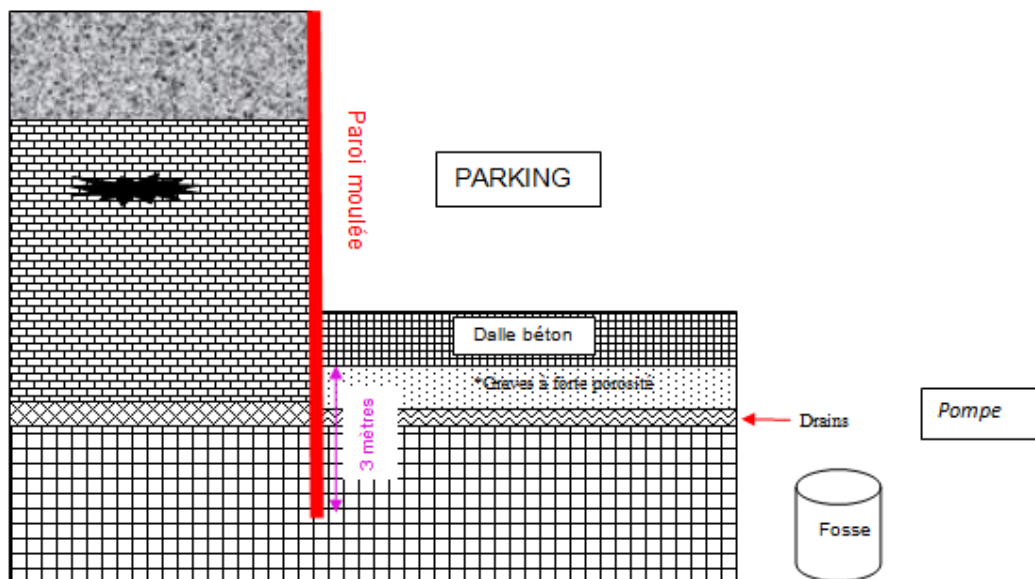
* La pression interstitielle est la pression exercée par l'eau

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 : La météorite de Rochechouart-Chassenon

La région de Rochechouart-Chassenon, en bordure nord-ouest du Massif-Central, s'étend sur environ 200 km² et se situe principalement dans le socle cristallin de la chaîne de montagnes hercynienne. Il y affleure des roches particulières, les impactites.

Ces roches ont été longtemps expliquées par le biais du volcanisme. Dans les années 60, un géologue et minéralogiste hongrois naturalisé français émet pour la première fois l'hypothèse que ces roches résultent d'un impact météoritique sur Terre.

1. Extraire des documents 1 à 5 des indices géologiques qui ont permis à François Kraut de privilégier l'origine météoritique des roches de la région de Rochechouart-Chassenon ?

Document 1 : note de François Kraut lu à l'Académie des sciences de Paris le 8 mai 1967.



« Les brèches "volcaniques" de la région de Rochechouart, en particulier celles de Chassenon, montrent de grandes analogies avec les suévites du Ries. Le quartz qu'elles renferment présente des pseudo-clivages remarquables suivant plusieurs plans cristallographiques. (...) »

En résumé (...) :

- la roche de Chassenon est une brèche volcanique. Dans ce cas les verres qu'elle contient seraient des laves vitreuses et les dislocations du quartz, attribuées généralement aux ondes de choc, peuvent être provoquées par une explosion volcanique.
- ce sont des impactites et les verres résulteraient de la fusion de roches frappées par une météorite. Dans ce cas toute la géologie régionale doit être reconsidérée. »

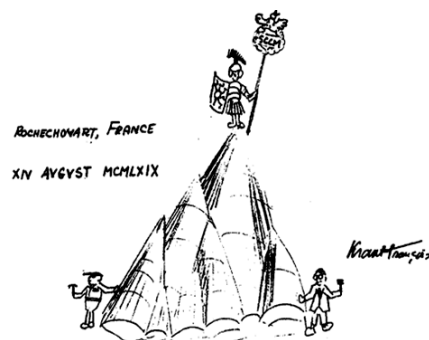
F. Kraut : Sur l'origine des clivages du quartz dans les brèches « volcaniques » de la région de Rochechouart, présentée par M. Jean Orcel – CR Académie des sciences de Paris 05/06/1967

Document 2 : compte-rendu de la découverte de cônes de percussion par B. Fredriksson, géologue américain en visite en France et avec lequel F. Kraut travaillait.

« Nous étions allés avec lui (F. Kraut) en France à Rochechouart, [...] à la recherche de cônes de percussion, un voyage autant éducatif que gastronomique. [...] »

Nous étions très découragés à la fin de notre voyage en quête de cônes de percussion, mais avons fait un dernier arrêt. Et voilà ! François se tenait le long d'un mur, et quand nous nous sommes tous tournés nous avons immédiatement découvert des cônes sur le mur ! Ainsi, nous les avons recherchés dans les roches du pays alors qu'il suffisait de regarder les pierres des murs et des murets ! Nous avons tous bien ri. »

B.M. French, Travel Report : trip to Europe (France, W. Germany, Britain) 8 aug-9 oct 1969, 25 février 1970, NASA



Dessin effectué par François Kraut pour illustrer la découverte des cônes de percussion

Document 3 : l'astroblème de Ries (Nördlinger Ries)



Le Ries est une dépression située dans l'ouest de la Bavière dont la forme presque circulaire et le caractère plat la distingue de manière surprenante du paysage accidenté alentour. Il a été prouvé en 1960 que le Ries était dû à un impact de météorite vieux d'environ 15 millions d'années.

L'astroblème de Ries compte parmi les cratères météoritiques les plus importants sur la surface de la terre.

Les suévites* sont les roches du cratère du Ries contenant des éléments vitreux.

* Le terme est dérivé de Suèves, nom d'une peuplade germanique s'étant établie en Souabe, région historique d'Allemagne.



Coupe dans un échantillon de suévites.

Document 4 : Cônes de percussion du cratère d'impact de Sudbury, Canada



Documents 5 : Quartz choqués

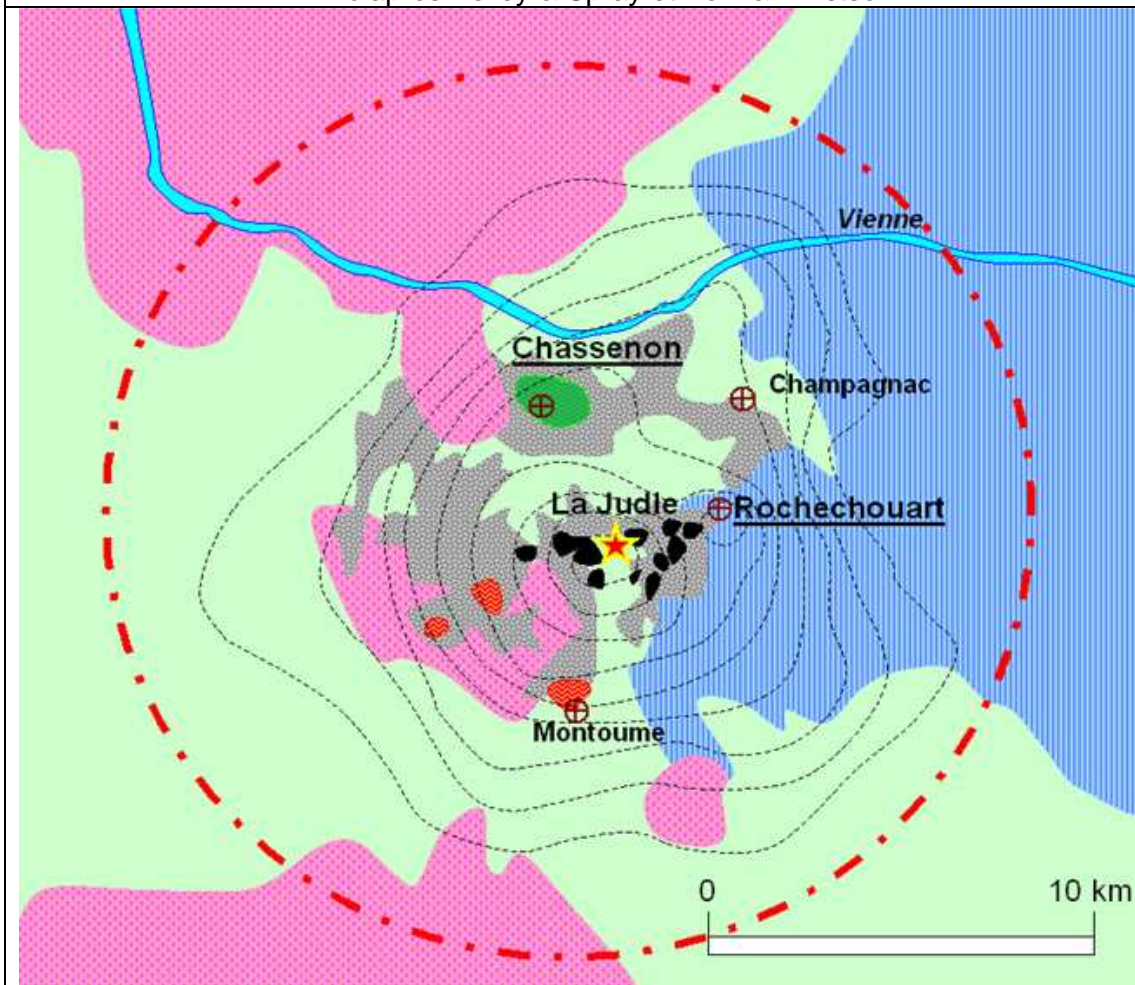
Ces quartz sont caractérisés par la présence des plans de dislocation très fins. Leur formation est maintenant bien connue et s'explique par les effets mécaniques d'un impact à très grande vitesse sur une roche contenant des cristaux de quartz



L'énergie libérée par l'impact de la météorite de Rochechouart fut énorme et le cratère faisait environ 19 à 23 kilomètres de diamètre (le diamètre ainsi que la profondeur restent des sujets ouverts). Aucun fragment de la météorite n'a subsisté. Elle s'est complètement vaporisée sous la violence de l'impact. Mais les roches terrestres ont été complètement remodelées. Certaines ont été vaporisées, d'autres désagrégées ou projetées à plus de 400 kilomètres de là, d'autres enfin, en sous-sol, ont été comprimées, fracturées ou choquées. L'ensemble s'est recombinaé, refroidi, et a formé ce que les géologues appellent l'astroblème de Rochechouart. La nature des roches de cet astroblème varie en fonction de leur distance au centre de l'impact et de leur profondeur.

2. Trouvez dans les documents 6 et 7 des arguments qui ont permis de localiser le centre de l'astroblème de Rochechouart au lieu-dit « La Judie ».

Document 6 : Carte de l'astroblème de Rochechouart
d'après Kelley & Spray et Pohl & Ernstson



	Gneiss		Brèches		Anomalies de Bouguer
	Leptinite		Suévite (Montoume)		Cratère
	Granite		Suévite (Chassenon)		Impact
			Suévite (Babaudus) Quartzs choqués		Localités

Les tirets rouges précisent l'emprise du cratère.

Les tirets fins gris indiquent des anomalies du sous-sol dites anomalies de Bouguer*.

* L'anomalie de Bouguer centrée sur « La Judie » correspond à une augmentation de la fracturation des roches et à une diminution de leur densité.

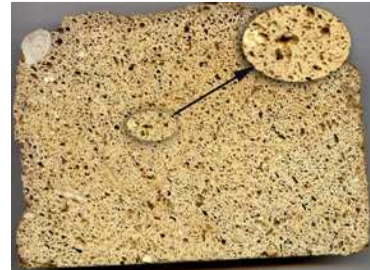
Document 7 : Les différentes roches de l'astroblème de Rochechouart

D'après <http://fr.wikipedia.org/>

Les impactites de Rochechouart se divisent en deux grandes familles :

- les impactites à éléments vitreux ou suévites. Ce sont des roches de retombée.
- les impactites sans éléments vitreux. Ces roches connues sous le nom de brèches de Rochechouart sont des roches de dislocation.

Les **suévites de type Babaudus** présentent un très fort taux de fusion. Les fragments non fondus qu'elles contiennent parfois sont très petits et constitués des éléments les moins fusibles (du quartz essentiellement). Les bulles nombreuses dont la taille varie du millimètre au centimètre ont été générées par une température de plusieurs milliers de degrés. Ces roches recouvrent les brèches de Rochechouart. Elles contiennent 40 fois plus de nickel que les roches du socle dont elles sont issues. Ce nickel provient indubitablement de la météorite.



Les **suévites de type Chassenon** (suévites vertes) contiennent quelques matières vitreuses de coloration verte caractéristique. Les plus gros fragments qui sont inclus dans ces roches mesurent quelques centimètres. On les retrouve au dessus des brèches de type Rochechouart ce qui permet de conclure qu'il s'agit des dernières retombées du panache de l'impact. Elles sont riches en oxyde de nickel qui leur donne leur coloration verte.



Les **suévites de type Montoume** (suévites rouges) recouvrent directement le socle ou bien les brèches de Rochechouart. Elles sont très riches en fragments de verre. La couleur rouge intense est due à une très forte teneur en fer probablement issu de la météorite. Ces brèches contiennent parfois des masses noirâtres d'oxyde de manganèse, élément lui aussi provenant probablement de la météorite.



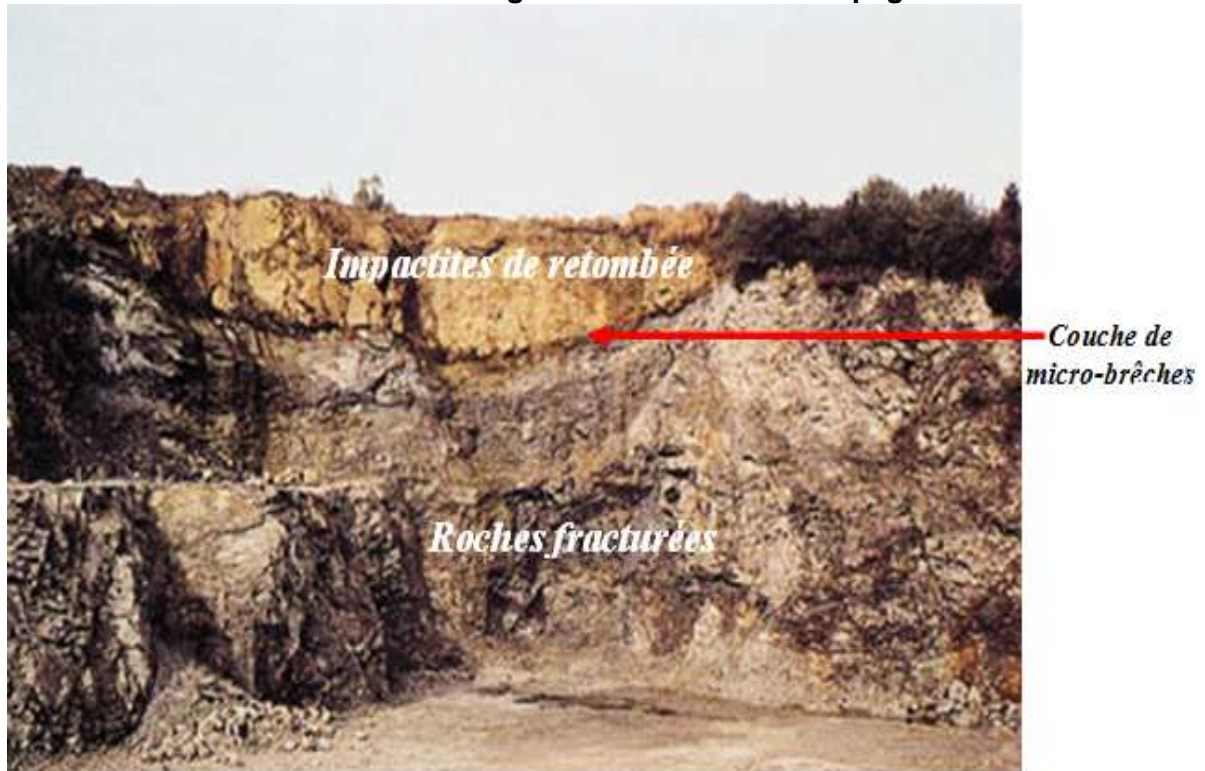
Les **brèches de Rochechouart** sont constituées de fragments de roches du socle de quelques millimètres à quelques mètres de diamètre, liés entre eux par un ciment constitué de poussières compactées par la pression, la température et le temps. Elles ne contiennent pas (ou très peu) de matière vitreuse. Le piton rocheux près du château de Rochechouart est constitué de ces brèches. Leur apparence ressemble au béton. Elles constituent la majeure partie des brèches de l'impact et de très nombreux bâtiments de la région sont construits avec ces roches.



Ce qui confère son caractère exceptionnel et unique au monde à l'astroblème de Rochechouart-Chassenon est le fait que l'on y voit le fond du cratère, les impactites qui le tapissent et, entre les lambeaux d'impactites, le socle profondément disloqué par l'impact, avec dans les filons de roches à grains fins la présence des cônes de percussion. Suite à l'érosion, le niveau actuel du sol fluctue de quelques mètres ou dizaines de mètres de part et d'autre de cette limite.

3. Montrer comment le document 8 permet de situer le fond du cratère d'impact et proposer un schéma interprétatif de la photographie.

Document 8 : La grande carrière de Champagnac



www.astrosurf.com/astrojanus/Robert.htm

L'observation et l'analyse récente des astéroïdes qui se trouvent dans la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter montrent que la plupart des astéroïdes de plus de 400 à 500 mètres de diamètre sont constitués d'une agglomération de blocs de tailles et de natures variées, fruits des chocs entre eux depuis plus de 4,55 milliards d'années, âge du système solaire. Une météorite de la taille de celle de Rochechouart résulterait ainsi de l'accumulation par collision d'une vingtaine d'astéroïdes de 500 mètres. Elle se serait désintégrée en traversant l'atmosphère terrestre.

4. D'après le document 9, expliquer pourquoi les scientifiques émettent actuellement l'hypothèse que la météorite de Rochechouart se serait désintégrée juste avant l'impact.

Document 9 : Les particularités de l'astroblème de Rochechouart

Un géologue, Philippe Lambert, remarque en 1982 que l'astroblème de Rochechouart-Chassenon a une forme atypique : le cratère est très plat, les variations d'altitude étant de l'ordre de ± 50 mètres ; il n'y a pas de pic central notable, contrairement à ce que l'on observe à Ries et Boltysh ; les couches de brèches diverses ne se recouvrent pas forcément selon l'empilement prévu par les théories; on retrouve plusieurs zones ayant subi des efforts extrêmes, elles sont parfois éloignées les unes des autres et entourées de zones d'efforts moindres. On peut ajouter qu'à Babaudus, Chassenon, et Montoume, par exemple, les impactites contiennent des teneurs en métaux radicalement différentes. Ces indices militent en faveur de l'impact de plusieurs blocs de natures et tailles diverses tombant les uns à côté des autres, les cratères des uns recouvrant ceux des autres.

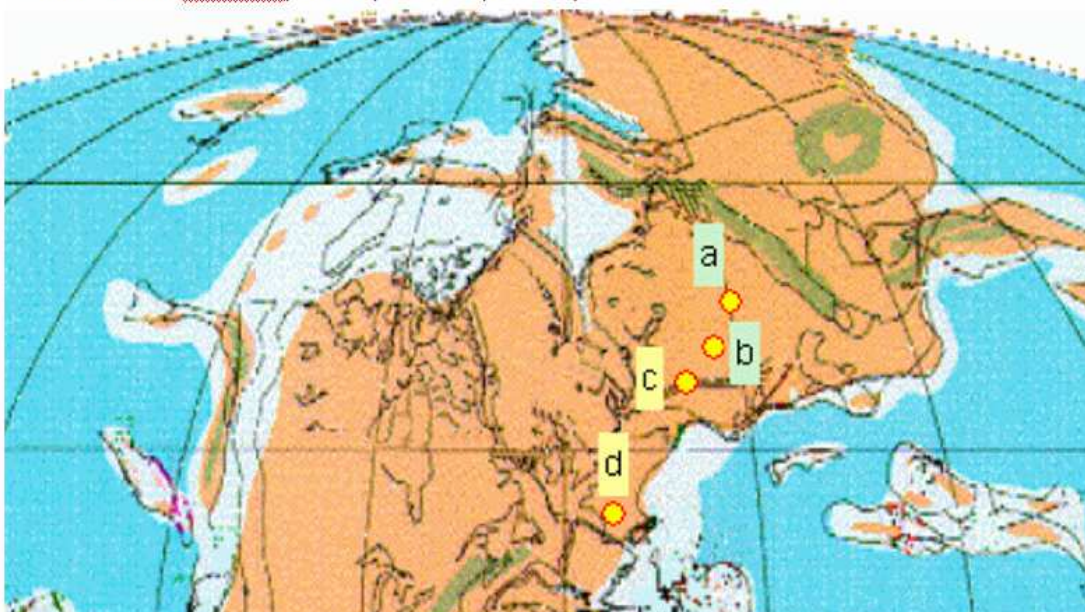
P. Lambert, [Rochechouart: A Flag Crater from a Clustered Impact](#), 1982, Meteoritics

5. On pense également que la météorite de Rochechouart proviendrait de la désintégration d'une météorite de plus grande taille avant son approche de la Terre. Comment le document 10 permet-il de valider cette hypothèse ?

Document 10 : Position et datation de quelques astroblèmes.

Les impacts sont reportés sur une carte représentant le globe terrestre il y a environ 210 Millions d'années.

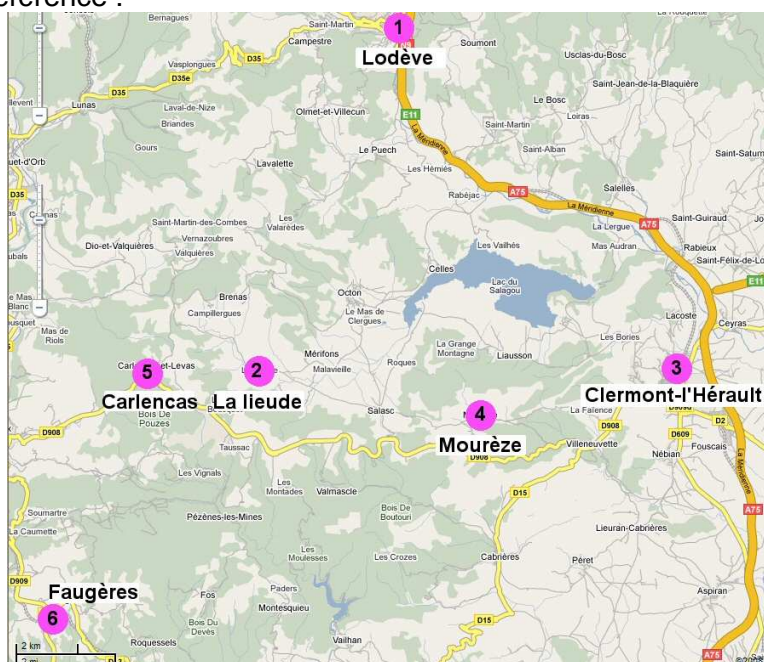
- a - Puchezh-Katunki, Tadjikistan (220 ± 10 Ma, Ø 80 km)
- b - Kursk, Russie (250 ± 80 Ma, Ø 6 km)
- c - Obolon, Ukraine (215 ± 25 Ma, Ø 15 km)
- d - Rochechouart-Chassenon, France (214 ± 8 Ma, Ø 22 km)



EXERCICE 4 : Dans la région de Lodève, des roches pleines de ressources !

Les roches sédimentaires sont précieuses pour reconstituer l'histoire géologique d'une région. En effet, leur étude donne des renseignements sur les conditions du milieu qui régnaient à l'époque de leur formation. De plus, certaines d'entre elles sont aujourd'hui très utiles à l'Homme.

Documents de référence :



Localisation des affleurements étudiés (source : Google Maps)

AGE (en millions d'années)	ERE	SYSTEME
1,8	QUATERNAIRE	
23	TERTIAIRE (= CENOZOÏQUE)	NEOGENE
65		PALEOGENE
96	SECONDAIRE (= MESOSOÏQUE)	CRETACE
135		JURASSIQUE
154		
180		TRIAS
205		
230		
240	PRIMAIRE (= PALEOZOÏQUE)	PERMIEN
245		CARBONIFERE
295		DEVONIEN
360		SILURIEN
410		ORDOVICIEN
435		CAMBRIEN
500	PRECAMBRIEN	
540		
4560		

Echelle stratigraphique simplifiée

Document 1 : Des affleurements du Permien à La Lieude (repère 2) et dans les environs de Clermont-l'Hérault (repère3).

Doc 1a : Les ruffes, à l'origine de la couleur rouge du paysage



La couleur des roches dépend du degré d'oxydation du fer qu'elles contiennent. L'oxydation du fer a lieu pendant les phases d'assèchement d'un bassin sédimentaire.

Doc 1b : Empreintes de Thérapsidés (vertébrés quadrupèdes) observées dans les ruffes (à gauche). Aspect d'une mare actuelle en cours d'assèchement (à droite)



Doc 1c : Figures sédimentaires observables dans les ruffes (à gauche) - Une plage actuelle (à droite).



Document 2 : La dolomie d'âge Jurassique au cirque de Mourèze (repère 4)

Doc 2a : De la dolomie dans le cirque de Mourèze



La dolomie du cirque de Mourèze est une roche à l'aspect de sucre cristallisé, composée de minéraux de calcite (CaCO_3) et de minéraux de dolomite ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$).

Elle résulte de la recristallisation secondaire d'une roche calcaire formée en mer profonde, composée uniquement de CaCO_3 et contenant de nombreux coquillages fossiles.

Dans les fractures du calcaire, la circulation d'eaux profondes, chaudes et riches en calcium et en magnésium, a causé la recristallisation, effaçant toute trace de coquillages fossiles.

Doc 2b : Exploitation de la dolomie à Carlenças (repère 5 sur la carte) (source : lithothèque de l'académie de Montpellier)



A la carrière de Carlenças, l'exploitant broie de la dolomie, composée de calcite et de 50% de dolomite. L'exploitation des carrières est réglementée par arrêté préfectoral, tant sur la durée de l'exploitation (la fin de l'exploitation est prévue en 2012) que sur les quantités à extraire (ici elles s'élèvent à 30 000 tonnes). A la fermeture, l'exploitant doit remettre en l'état le paysage originel.

La dolomie est une roche utile. Sa teneur importante en calcium lui donne un intérêt dans l'agriculture, elle sert dans l'**amendement**, comme apport de calcium dans les sols particulièrement pauvres. Sa teneur en magnésium lui donne une fonction de **liant** dans la fabrication du verre. Elle est également utilisée dans l'industrie du bâtiment, pour la fabrication du **béton**.

Document 3 : La bauxite d'âge Crétacé

Doc 3a : Affleurement de bauxite à Carlenças (repère 5)



Doc 4b : Détail d'un échantillon : pisolithes rouges inclus dans la matrice blanche composée d'hydroxydes d'alumine



Photo : lithothèque de l'académie de Montpellier

Doc 3c : Origine de la bauxite et utilisations dans la région de Lodève

Au Crétacé, un climat tropical humide permet l'altération des roches cristallines de Faugères (repère 6). SiO_2 , Ca, Na et K sont lessivés par d'intenses précipitations tandis que Al et Fe restent sur place et forment des hydroxydes d'alumine (matrice blanche de la bauxite) et des hydroxydes de fer (pisolithes rouges). La dolomie d'âge Jurassique, partiellement dissoute par les eaux de pluies, chargées de gaz carbonique (CO_2) présente de nombreuses cavités (on parle de relief karstique) à l'intérieur desquelles se dépose la bauxite après un transport court.

Les bauxites ont été exploitées pour produire de l'aluminium, à Bédarieux, Carlenças, ... depuis le début du XX^{ème} siècle jusqu'à l'année 1975. La société Péchiney a exploité principalement les bauxites contenant plus de 50 % d'hydroxydes d'aluminium. Six millions de tonnes de roches alumineuses ont été ainsi extraites dans la région de Lodève. Plusieurs dépressions laissées par les carrières, non protégées, ont été utilisées comme sites de dépôts d'ordures par la population et les collectivités, dans un contexte hydrogéologique très sensible. En effet, dans un karst calcaro-dolomitique comportant de nombreuses fentes et cavités, les eaux circulent rapidement et peuvent entraîner les agents polluants vers l'aquifère (réserve d'eau souterraine, exploitable par l'Homme par pompage).

Questions :

1. A partir des informations extraites des documents 1, 2a et 3, reconstituer l'évolution des paléoenvironnements de cette région du Permien au Crétacé.
2. Dégager des documents 2b et 3c des informations montrant l'intérêt d'une bonne connaissance de la géologie d'une région dans le cadre d'un usage raisonné de ses ressources.