

Académies de métropole 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 14 est à compléter et à rendre avec la copie

Exercice 1

Un géant de sable en mouvement

La Dune du Pilat est située sur le littoral atlantique, dans le département de la Gironde. Placé à la frontière entre l'océan et la forêt des Landes de Gascogne, cet édifice sableux possède des dimensions extraordinaires (100 à 115 m de hauteur, 2 700 m de longueur, environ 500 m de largeur) qui en font la plus grande dune d'Europe.

Site très fréquenté (touristes, vacanciers, parapentistes, ...), cette dune possède aussi de multiples attraits géologiques.



De nombreuses observations, passées et actuelles, témoignent d'un déplacement de la dune, au détriment de la végétation ou des constructions humaines (voir le document 1).

On cherche à comprendre l'origine de cette dune et les modalités de son déplacement afin de déterminer si l'on peut envisager ou non sa fixation

Document 1 : des témoignages du déplacement dunaire

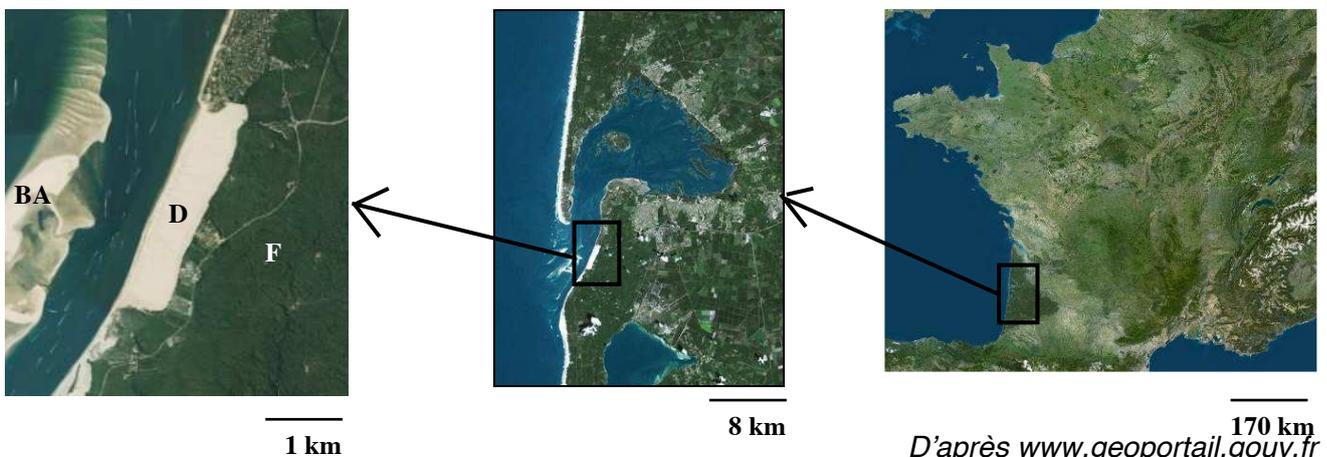
« À partir de l'an 1500, le climat change. Des vents puissants vont créer une nouvelle série de dunes appelées "dunes modernes". Ces dernières envahissent les dunes anciennes et recouvrent également les villages et les cultures. Les hommes les fixent alors par semis de pins maritimes en application d'un décret consulaire de 1801, signé de Napoléon Bonaparte. La dune située à l'emplacement actuel de la Dune du Pilat est ainsi stabilisée au début du XIXe siècle.[...] Une forêt cultivée de pins s'étendait là à cette époque.[...] Sous l'effet de l'érosion qui attaquait son pied, la dune s'est remise en mouvement vers 1860 pour donner naissance à la dune que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de Dune du Pilat. »

D'après www.dunedupilat.com

« Outre un intérêt scientifique, la Dune du Pilat représente un intérêt paysager et culturel qui induit de nombreux enjeux dont une importante fréquentation touristique (plus d'un million de visiteurs par an). Par endroits, des actions ont été entreprises (installation d'enrochements et de géotextiles, plantation d'oyats) afin de limiter son déplacement qui menace des voies de communication, des habitations, des campings ainsi que la forêt de la Teste de Buch. »

D'après www.infoterre.brgm.fr

Document 2 : localisation géographique de la Dune du Pilat

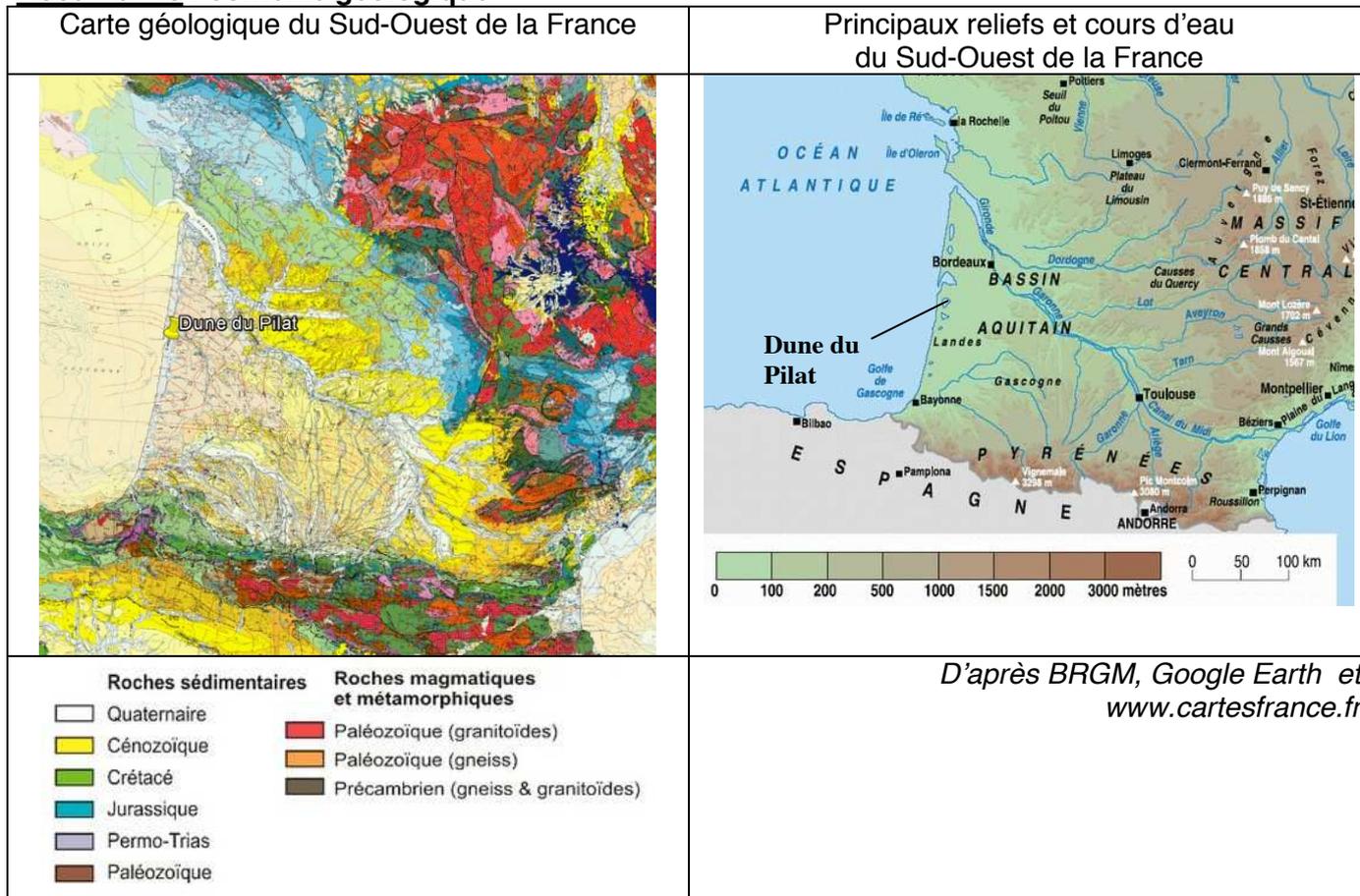


D'après www.geoportail.gouv.fr

Face à la dune (D), en mer, se trouvent d'autres accumulations de sable dont certaines affleurent plus ou moins selon les marées, comme le Banc d'Arguin (BA), classé en réserve naturelle nationale.

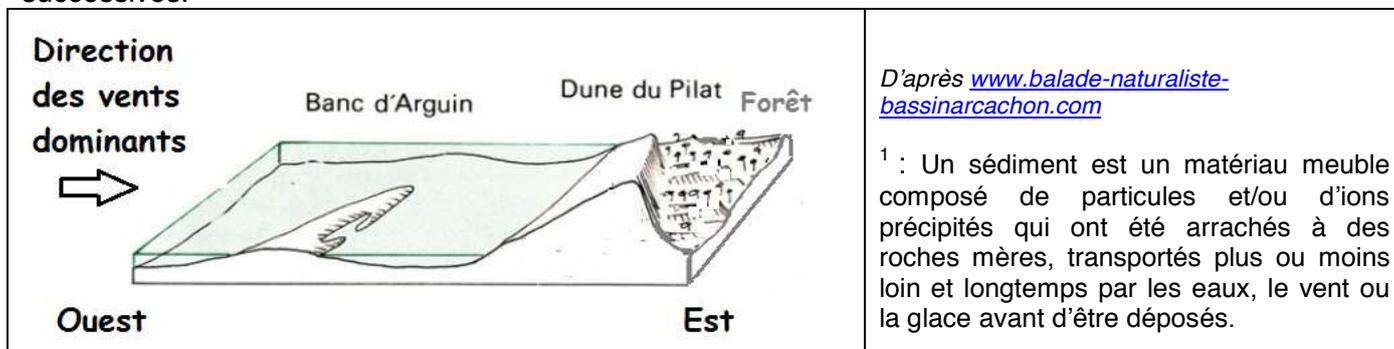
À l'Est de la dune, se situe la forêt de la Teste de Buch (F).

Document 3 : contexte géologique



Document 4 : bloc diagramme schématisique du complexe dunaire

La Dune du Pilat est un édifice sédimentaire¹ complexe constitué d'une superposition de dunes successives.



Document 5 : composition de la dune

La Dune du Pilat est constituée d'un sable essentiellement siliceux dont les caractéristiques granulométriques et minéralogiques peuvent être déterminées à l'aide des analyses suivantes.

Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique d'un sable correspond à la description de la forme et de l'aspect des grains qui le composent, après observation à la loupe. Cette analyse renseigne sur les conditions de transport des grains. On distingue trois catégories principales de grains :

Catégories	Grains non usés	Grains émoussés luisants	Grains ronds mats
Morphologie	Forme souvent anguleuse. Arêtes ne présentant aucune trace de polissage ni d'arrondissement.	Forme aux arêtes estompées. Aspect de surface poli, brillant, luisant.	Forme arrondie, sans arête. Aspect de surface dépoli et mat.
Conditions de transport	Transport par des glaciers, ou des cours d'eau sur de faibles distances.	Transport de longue durée en milieu aquatique continental et/ou marin.	Transport éolien (par le vent).

L'observation à la loupe d'un petit échantillon de sable prélevé sur la Dune du Pilat a permis de réaliser les photos suivantes :



Chaque carré orange mesure 1 mm de côté.

NB : Sur le banc d'Arguin, on trouve essentiellement des grains émoussés et luisants ; Sur la Dune du Pilat, on trouve également des grains ronds et mats.

Analyse minéralogique :

Au pied de la dune, côté plage, et sur le banc d'Arguin, on peut observer que le sable contient en abondance des minéraux lourds qui se sont accumulés là en couches par gravité et par l'effet des vagues qui trient plus ou moins les particules selon leur densité.



Tranchée au pied de la dune

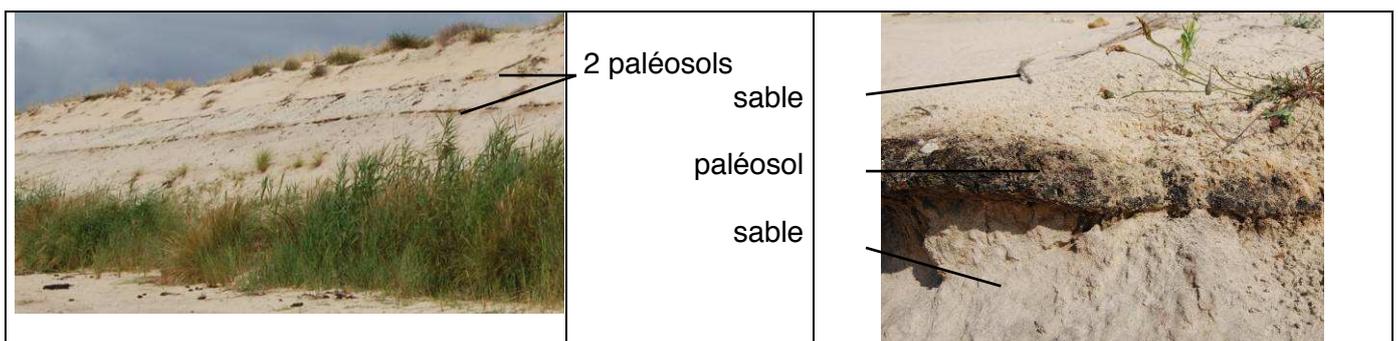


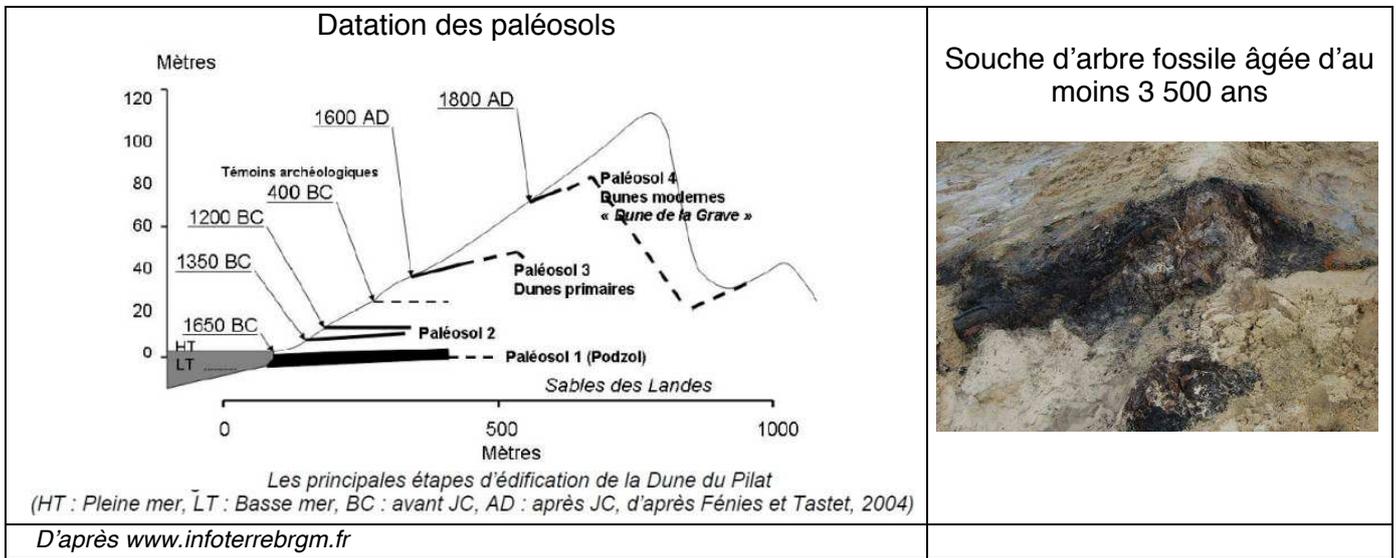
Détail de la coupe

Les minéraux lourds sont essentiellement représentés ici par de l'ilménite ($FeTiO_3$) et de la magnétite (Fe_3O_4) mais aussi un peu par des tourmalines, des grenats et même de minuscules paillettes d'or. Ces espèces minérales se forment dans des roches magmatiques ou métamorphiques.

Document 6 : une succession de paléosols

Sur la face maritime de la Dune du Pilat affleurent plusieurs paléosols (anciens sols fossilisés) qui témoignent de la présence de forêts anciennes successives.



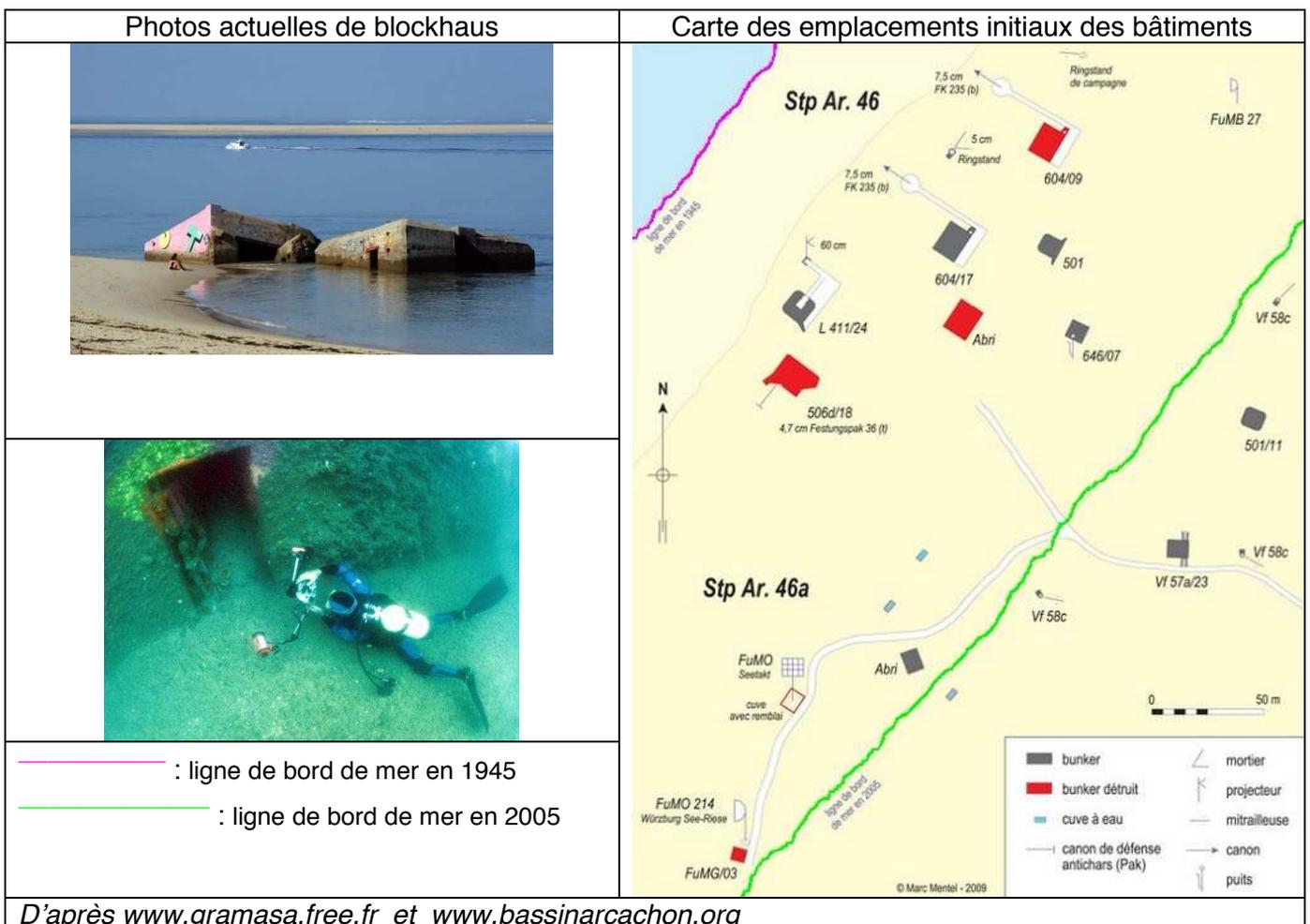


Souche d'arbre fossile âgée d'au moins 3 500 ans



Document 7 : d'autres vestiges historiques

De 1942 à 1944, l'organisation Todt du régime Nazi a édifié le Mur de l'Atlantique dont certains éléments étaient parsemés sur les hauteurs de la Dune du Pilat sous forme de blockhaus. Actuellement, la plupart de ces bâtiments sont situés sur la plage ou sous l'eau.

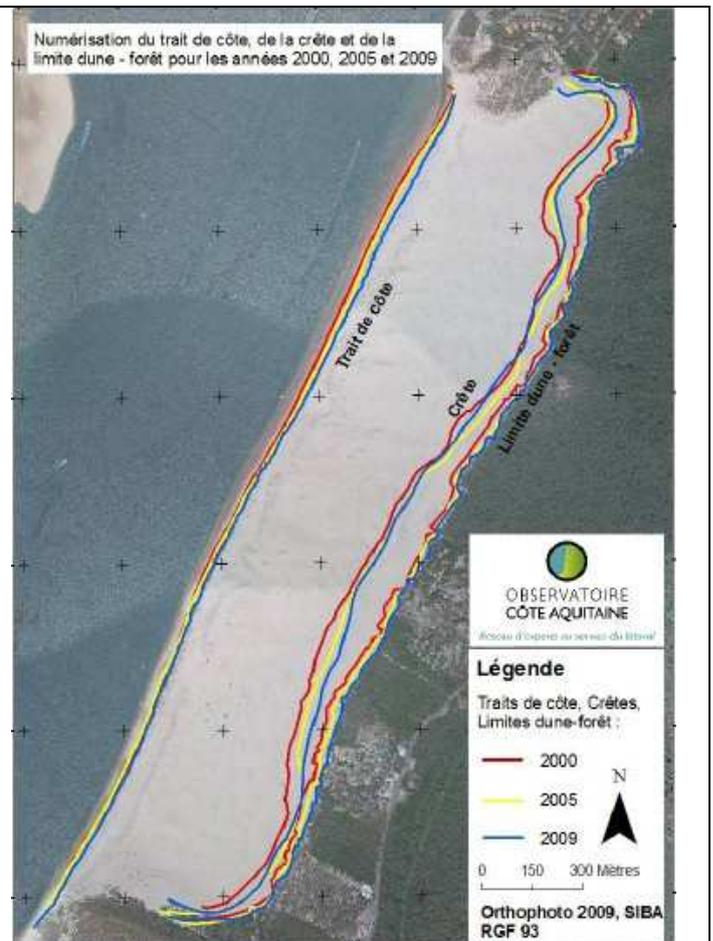


Document 8 : résultats de mesures récentes précises

Sur le même principe qu'un GPS, un DGPS (ou GPS Différentiel) calcule les coordonnées d'un point à partir de la mesure du temps de trajet des signaux radioélectriques émis par plusieurs satellites. Afin d'obtenir une précision centimétrique, sa particularité repose sur l'utilisation d'un récepteur positionné sur un point fixe et connu. La comparaison des coordonnées connues et calculées de ce point de référence permet de déterminer l'erreur des satellites. Cette erreur transmise à un ou plusieurs mobiles, via un système radio, peut ainsi permettre de corriger les levés de points.

L'image ci-contre synthétise les relevés effectués en 2000, 2005 et 2009.

D'après www.infoterre.brgm.fr



Questions :

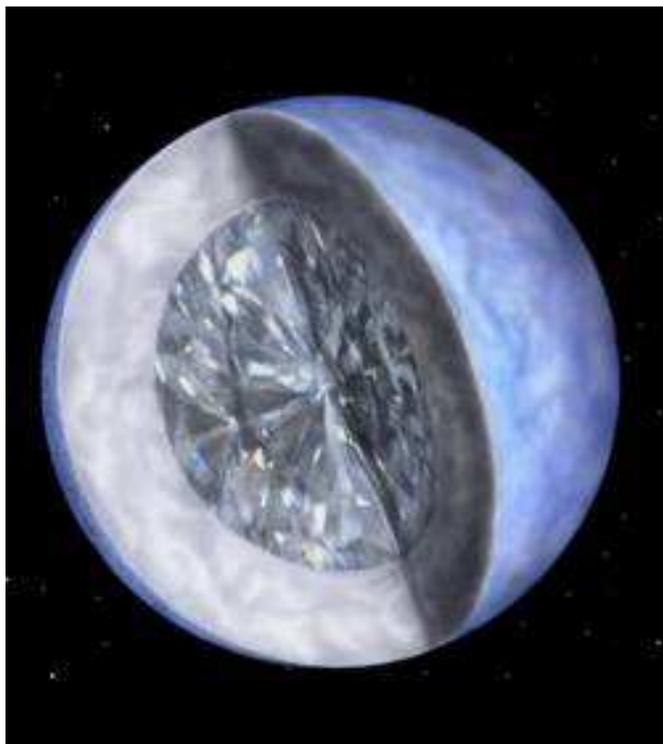
Question 1 : en utilisant l'ensemble des documents 2 à 6, déterminer les différentes étapes qui ont conduit des particules depuis leur roche mère jusqu'à ce gros tas de sable qu'est la Dune du Pilat.

Question 2 : d'après les documents 6 et 7, montrer que la dune est en mouvement et donner, en la justifiant, une valeur de sa vitesse.

Question 3 : confronter les résultats des mesures récentes du document 8 à ceux obtenus à la question précédente.

Question 4 : argumenter l'intérêt ou le non-intérêt de la fixation de la dune.

Exercice 2 : Du « diamant fondu » à l'intérieur de Neptune ?



« Cela faisait des éternités que le carbone expulsé des réactions chimiques des régions supérieures descendait s'accumuler vers le centre du monde où, sous une pression de plusieurs millions d'atmosphères, il s'était cristallisé et avait enfin donné, dernière plaisanterie de la nature, quelque chose d'extrêmement précieux aux yeux des Terriens. Le centre de Jupiter, à jamais hors de portée des humains, était un diamant aussi grand que la Terre. »

Arthur C. Clarke ; *2010 : Odyssée Deux*. (1984)
Extrait d'un livre de science fiction

Photo : Harvard-Smithsonian, Center for Astrophysics.

L'auteur de science-fiction Arthur C. Clarke a popularisé l'idée que certaines planètes gazeuses pouvaient contenir un cœur de diamants. Au-delà de la fiction, certains chercheurs pensent aujourd'hui que certaines planètes comme Neptune pourraient

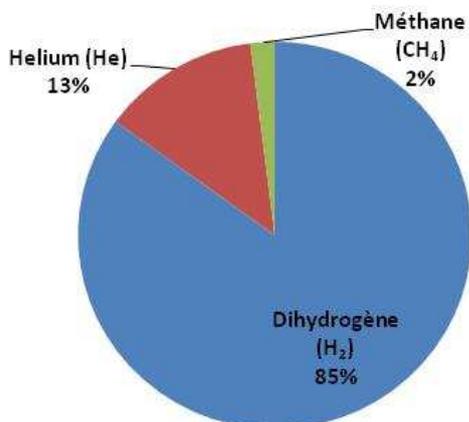
contenir des diamants dans un océan de carbone. Ainsi, en janvier 2010, le site d'information scientifique Futura-Sciences écrit : « Il pourrait se trouver sur Neptune d'énormes icebergs en diamant flottant sur du carbone liquide ».

Question : à partir de l'exploitation des documents, discuter de l'existence de diamants dans un océan de carbone liquide à l'intérieur de Neptune.

Document 1 : quelques caractéristiques physiques de Neptune

Neptune est la planète gazeuse la plus éloignée du soleil. Elle mesure un peu moins de 25000 km de rayon (environ 4 fois celui de la Terre). Sa densité est d'environ 1,6 alors que celle de la Terre est de 5,5. Cette différence s'explique par la présence d'une enveloppe gazeuse importante en surface. Le dihydrogène et l'hélium, qui composent majoritairement l'atmosphère de Neptune, sont des éléments volatils. Des éléments plus lourds sont probablement plus abondants à l'intérieur de la planète. On pense que l'intérieur de Neptune serait constitué d'au moins 10% de carbone.

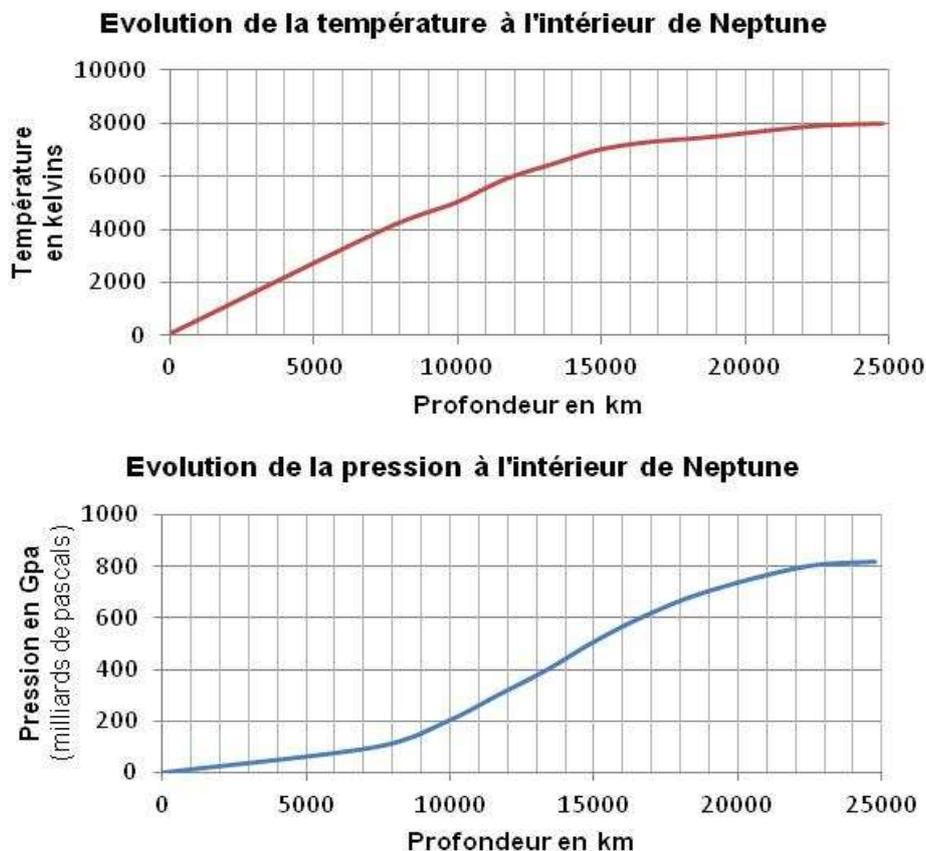
Document 1a : composition de l'atmosphère de Neptune en pourcentage du volume



Source : wikipedia

Document 1b : modèle d'évolution de la pression (en GPa) et de la température (en K) à l'intérieur de Neptune

Le kelvin (K) est une unité de température décalée de -273,15 par rapport aux degrés Celsius (0 K = -273,15°C).



Graphiques construits à partir des données publiées par Helled et al. in *The Astrophysical Journal*, 726 :15 ; jan 2011 et Eggert et al. in *Nature Physics*, jan 2010

Document 2 : étude expérimentale de la transformation du méthane à hautes pressions et températures

En 1999, une équipe de géophysiciens de l'université de Berkeley aux Etats-Unis étudie l'évolution du méthane soumis à des pressions et des températures croissantes. Ils utilisent pour cela une presse à enclumes de diamant qui leur permet de comprimer un échantillon tout en le chauffant.

Document 2a : le dispositif expérimental de la presse à enclumes de diamants

La presse à enclumes de diamant repose sur un principe physique simple : pour atteindre des pressions élevées, il faut appliquer une force importante sur une surface la plus réduite possible. Le diamant est utilisé dans ce dispositif en raison de sa résistance exceptionnelle à la compression. L'échantillon, comprimé et chauffé par un laser, émet un rayonnement que l'on analyse par spectroscopie pour déterminer la température.

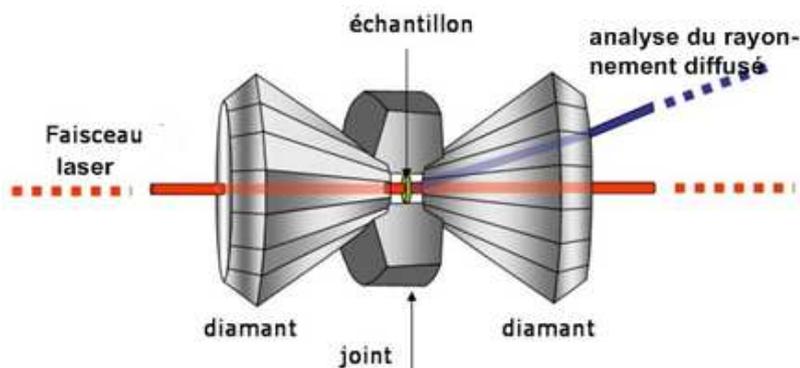
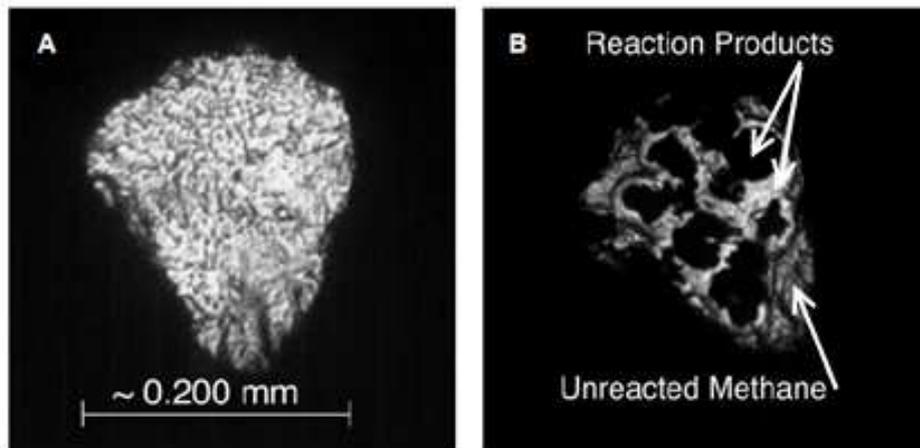


Schéma modifié d'après <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/cellule-diamant.xml>

Document 2b : images du méthane (A) et des produits obtenus (B) après avoir soumis un échantillon de méthane à une augmentation de pression (jusqu'à 19 GPa) et de température (entre 2000 K et 3000 K) dans une presse à enclumes de diamant

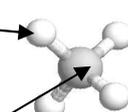
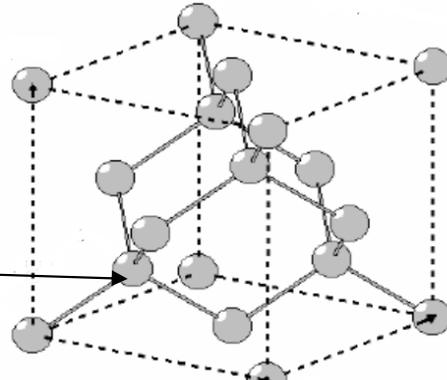
Le méthane, initialement gazeux, a été liquéfié par refroidissement de manière à être chargé dans la presse à enclumes de diamants, et cristallisé sous l'effet de l'augmentation de la pression jusqu'à 19

GPa (photo A). Il a ensuite été chauffé par un laser jusqu'à 2000 à 3000 K (photo B). Les produits de réactions opaques (noirs), solides et de densité élevée, d'environ 15 µm de diamètre, se sont formés au centre du faisceau laser, et sont entourés de régions transparentes (blanches), restées fluides lors de la réaction. L'analyse chimique de ce deuxième produit de réaction a montré qu'il était constitué d'hydrocarbures (constitués de carbone et d'hydrogène) riches en doubles et triples liaisons.



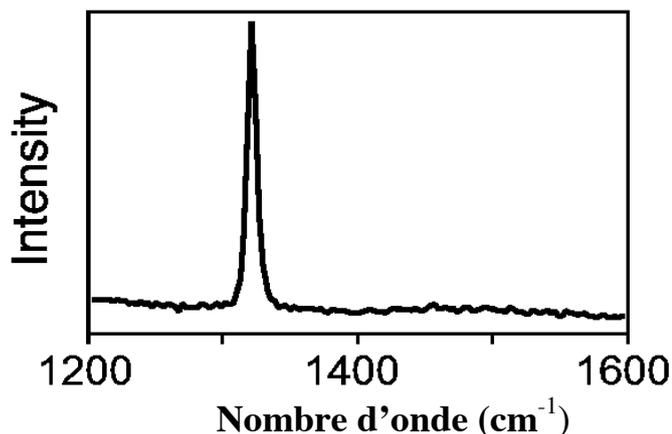
Source : LR. Benedetti *et al. Science*, 286, 100, 1999

Document 2c : comparaison de l'organisation du méthane et du diamant

	Méthane	Diamant
Formule brute	CH ₄	C
Structure de la molécule		Cristal cubique
<i>Sphères blanches : atomes d'hydrogène</i>		
<i>Sphères grises : atomes de carbone</i>		
	Longueur des liaisons C-H : 0,109 nm	Longueur des liaisons C-C : 0,154 nm

D'après T. Kociniowski, Thèse de doctorat, 2006

Document 2d : analyse spectroscopique des produits de réaction obtenus par compression et chauffage (spectre Raman)



La spectroscopie Raman permet de connaître la structure moléculaire d'un matériau en le soumettant à un rayonnement laser. L'analyse des fréquences de vibration du faisceau émis (rayonnement diffusé) par l'échantillon (mesuré par le nombre d'onde) permet d'identifier les différentes liaisons chimiques présentes (présence d'un pic d'intensité ou pic de vibration). La mesure a été réalisée sur le produit de réaction opaque, à pression atmosphérique terrestre, récupéré après l'expérimentation dans la presse à enclumes de diamants.

Source : L R. Benedetti *et al.*, *Science*, 286, 100, 1999.

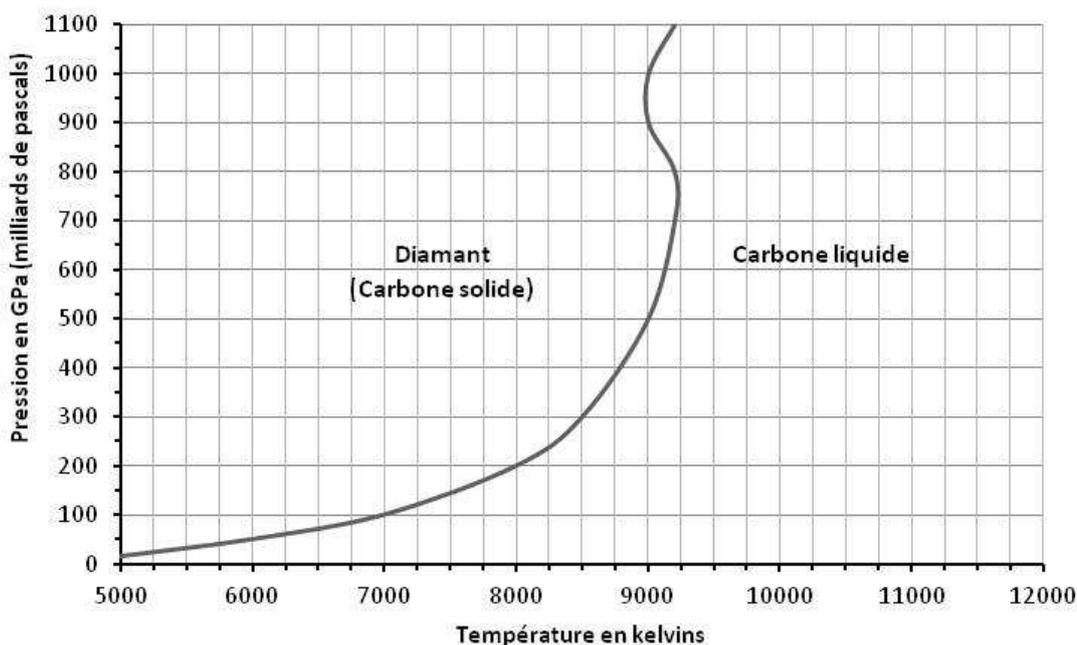
D'autres analyses ont montré une absence de pic de vibration entre 3000 et 4000 cm^{-1} au sein de cet échantillon opaque.

Document 2e : pics de vibration caractéristiques de certaines liaisons chimiques impliquant du carbone, mesurés en spectroscopie Raman

Type de liaison	Liaison entre atomes de carbone			Liaison entre atomes de carbone et d'hydrogène		
Formule	$\begin{array}{c} & \\ -C & -C- \\ & \end{array}$	$\begin{array}{c} \diagdown & \diagup \\ C & = & C \\ \diagup & \diagdown \end{array}$	$-C \equiv C-$	$\begin{array}{c} \\ -C-H \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} H \\ =C \\ \diagdown \end{array}$	$\equiv C-H$
Nombre d'onde du pic (en cm^{-1})	1333	1600	1800 à 2000	3000 à 3100	3100 à 3300	3300 à 3400

Document 3 : expérience de fusion de diamant en laboratoire.

L'expérience consiste à envoyer sur un diamant un faisceau laser très puissant (le laser Omega de l'université de Rochester) qui crée une onde de choc. L'échantillon fond au moment du choc, puis recristallise. On détermine la température et la pression au moment du changement d'état.



Courbe de fusion du diamant pour de très hautes pressions et températures

Graphique modifié d'après Eggert *et al.* in *Nature physics* - janvier 2010

Exercice 3 - Les experts... géologues

Un meurtre a été commis. Un cadavre a été déposé juste devant la gendarmerie de Crimeville mettant la justice au défi de résoudre cette affaire.

Les enquêteurs n'ont que peu d'indices et il leur faut retrouver la scène de crime. Le légiste a déterminé que la mort est très récente, moins de deux heures. Le rayon de recherche se restreint à 50 km autour de la gendarmerie.

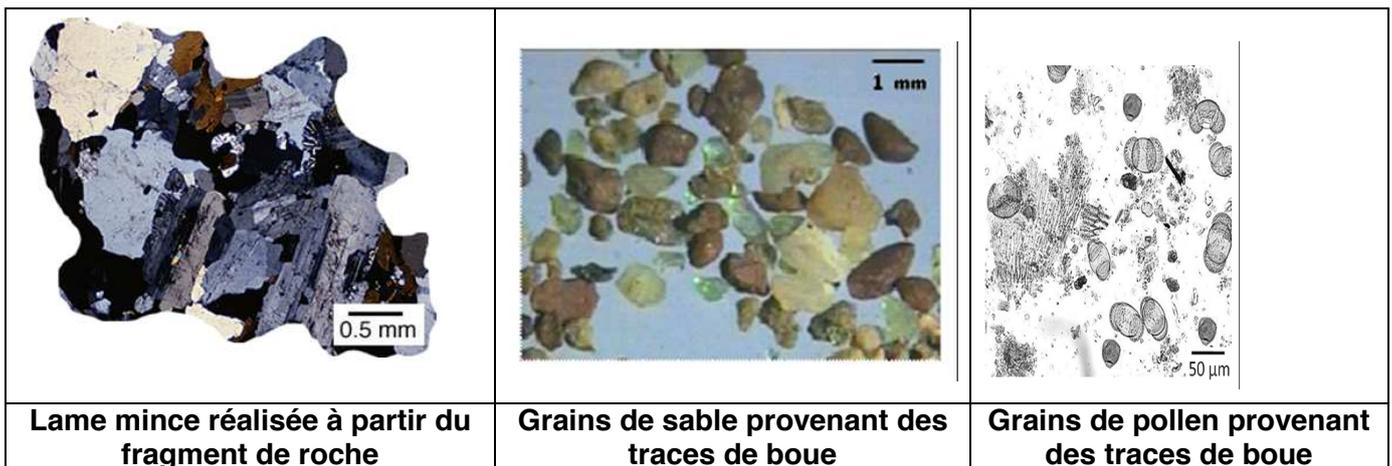
Sous les chaussures de la victime, l'équipe scientifique trouve un petit fragment de roche, coincé entre les crans de la semelle. Dans ses cheveux ils découvrent des traces de boue dont l'examen à la loupe montre quelques grains de sable et de pollen.



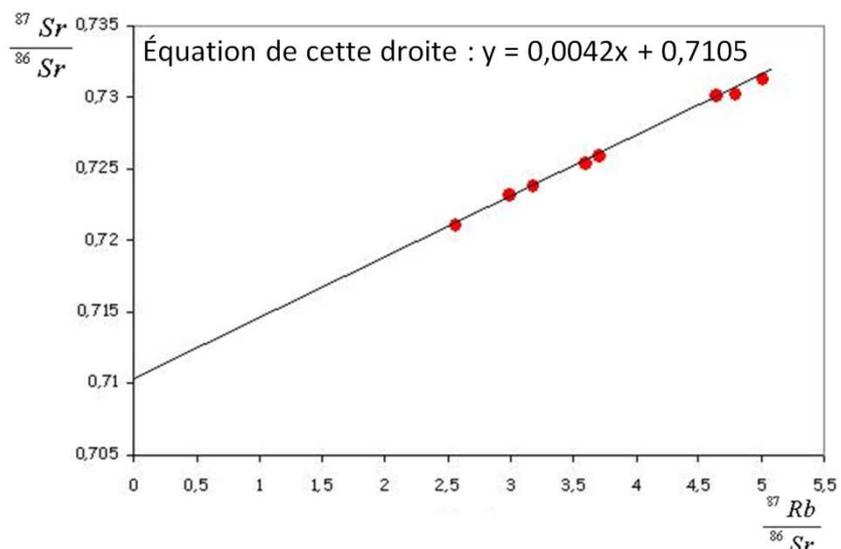
En votre qualité d'expert en géologie, les indices prélevés sur la victime (document 1) vous sont confiés. Au cours de votre carrière, vous vous êtes confectionné des fiches de référence dans plusieurs domaines de la géologie (document 2).

Question : rédiger un rapport d'enquête qui précise comment chaque indice permet de réduire la zone de recherche et localiser le plus précisément possible le lieu du crime sur la carte (**document 3, à rendre avec la copie**).

Document 1a : indices relevés sous la chaussure et dans les cheveux de la victime



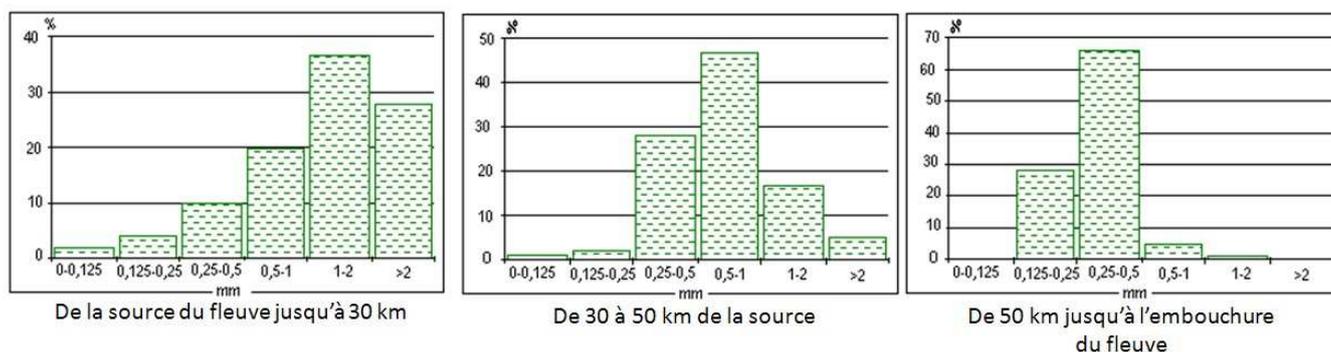
Document 1b : résultats de mesures effectuées en vue de la datation du fragment de roche retrouvé sous la chaussure



Source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr>

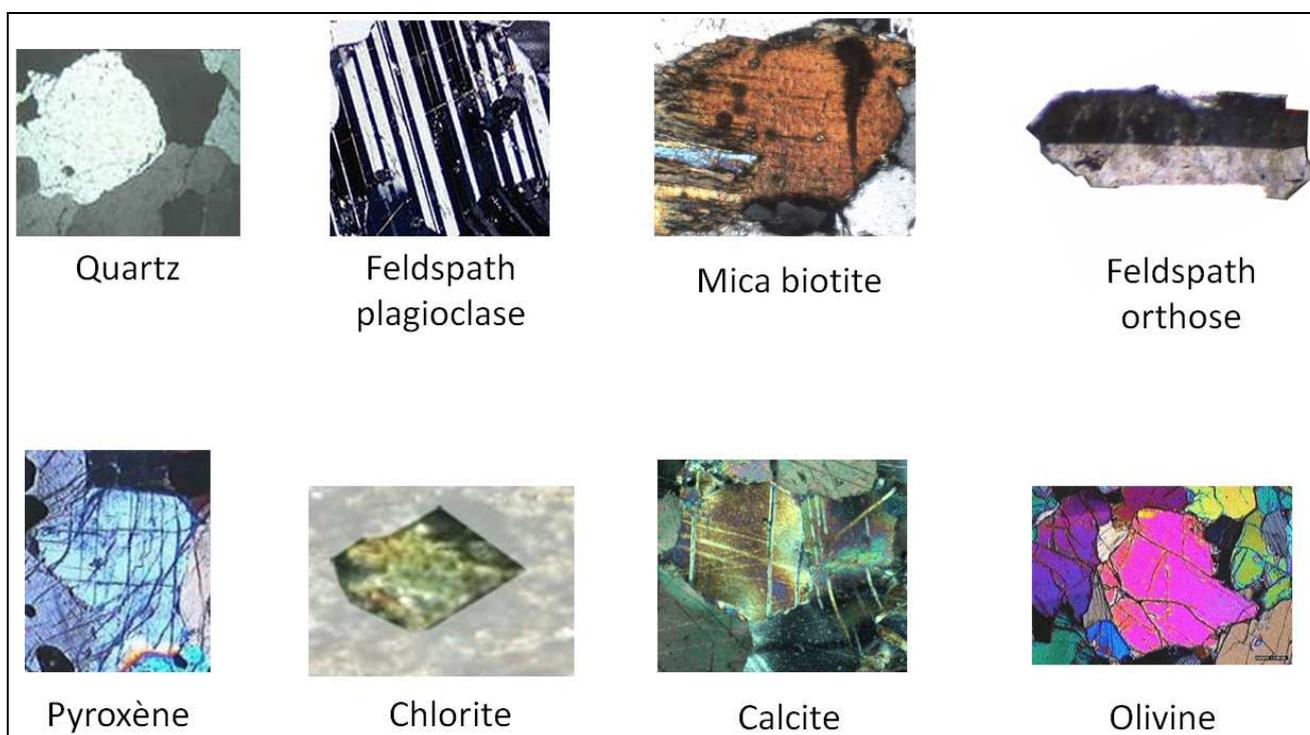
Document 2 : fiches de référence pouvant vous servir dans cette enquête

Fiche de référence 2a : répartition de la taille des grains de sable dans un fleuve en fonction de la distance à la source



Source : <http://svt.ac-montpellier.fr/spip/IMG/oldsvt/sables/granulom.htm>

Fiche de référence 2b : microphotographies de lames minces des minéraux les plus fréquents aux environs de Crimeville



Fiche de référence 2c : composition minéralogique de différentes roches

Gabbro	Grès	Micaschiste	Granite	Calcaire
Roche magmatique composée de plagioclase, de pyroxène, d'amphibole et d'olivine.	Roche sédimentaire constituée d'une agrégation de grains de quartz.	Roche métamorphique constituée de minéraux orientés dans la même direction, tels que des micas, de la chlorite ou du talc. Le plus souvent, ils contiennent aussi du quartz, des feldspaths, parfois des amphiboles ou des grenats.	Roche magmatique principalement constituée de quartz, de micas (biotite et/ou muscovite), des feldspaths potassiques (orthoses) et des plagioclases.	Roche sédimentaire, composée d'au moins 70 % de calcite pouvant contenir de la silice, de l'argile et de la matière organique.

Fiche de référence 2d : datation de roches par la méthode Rubidium/Strontium

On peut dater certaines roches grâce au dosage d'un élément radioactif s'y trouvant, le ^{87}Rb (Rubidium), qui se désintègre peu à peu en ^{87}Sr (Strontium).

Pour dater la roche, on mesure les rapports suivants : $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ dans différents échantillons de cette roche, le ^{86}Sr étant un élément non radioactif.

L'ensemble des mesures se retrouve sur une courbe dont l'équation est la suivante :

$$\left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} \right) = (\lambda t) \left(\frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}} \right) + \left(\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} \right)_0$$

Soit une équation du type $y = ax + b$ où λt représente le coefficient directeur de la droite, avec $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ et $t = \text{âge de la roche en année}$.

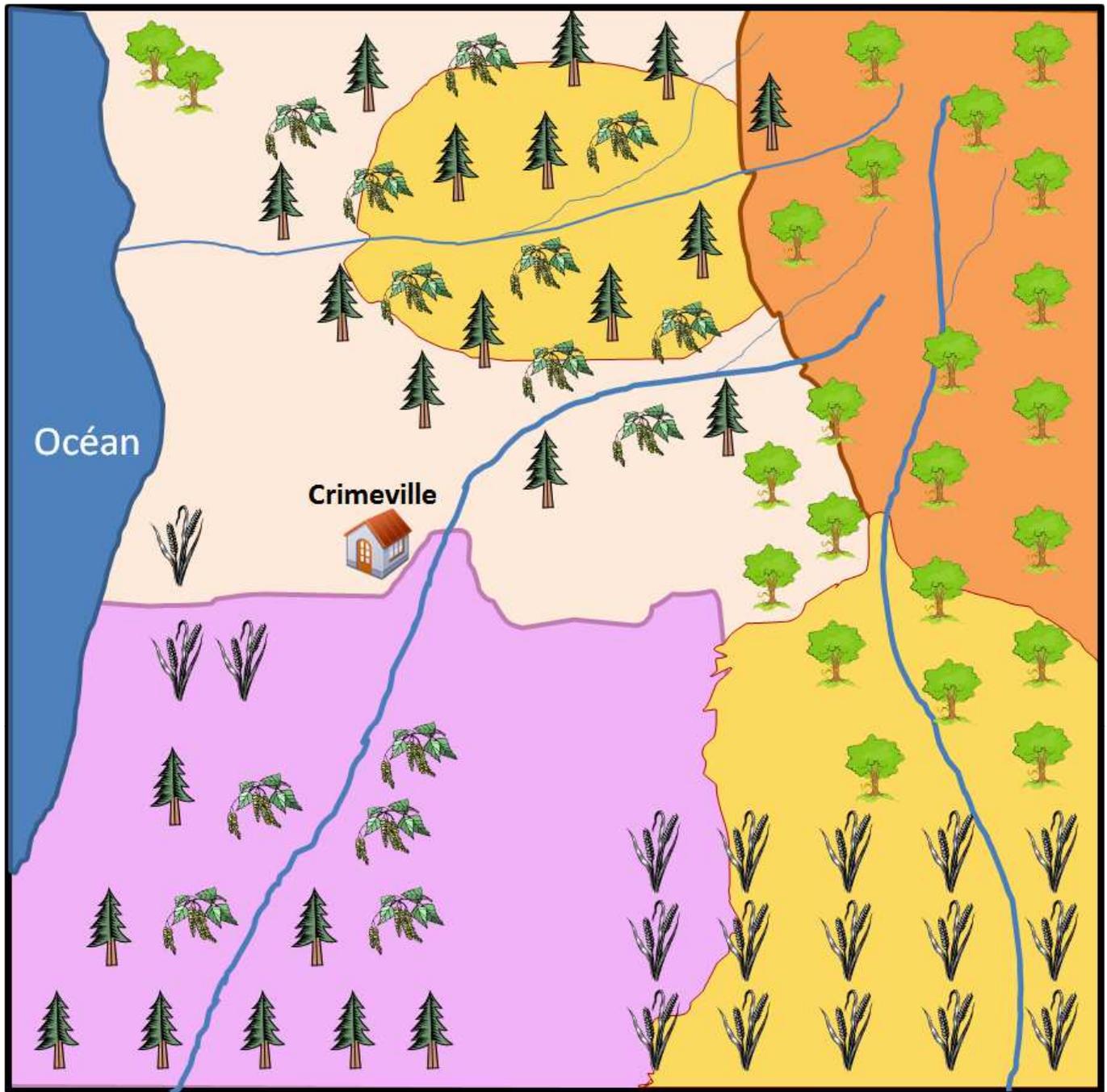
Fiche de référence 2e : clé de détermination de quelques grains de pollen

<p>GRAIN SANS PORE NI SILLON</p>	 <p>Peuplier</p>	 <p>Pin</p>	 <p>Epicéa</p>		
<p>GRAIN AVEC PORE</p>	 <p>Graminée</p>	 <p>Bouleau</p>	 <p>Noisetier</p>	 <p>Aulne</p>	 <p>Charme</p>
<p>GRAIN AVEC SILLON</p>	 <p>Fougère (spore)</p>	 <p>Chêne</p>	 <p>Erable</p>		

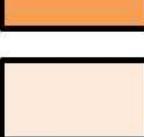
Remarque : Statistiquement, les pollens sont retrouvés dans les premiers kilomètres autour de leur lieu d'émission.

Document à rendre avec la copie

Document 3 : carte simplifiée de la zone de recherche de la scène de crime



-  Chênes et fougères
-  Pin
-  Bouleau
-  Graminées

- | | |
|---|------------------------------------|
|  | Granite
Age : 302 Ma |
|  | Granite
Age : 180 Ma |
|  | Grès
Age : 298 Ma |
|  | Micaschiste
Age : 460 Ma |

Echelle :  5km

 Cours d'eau