13e OLYMPIADES DE GÉOSCIENCES

22 MAI 2019

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE

En partenariat avec

SGF Société Géologique de France

planete energies Une initiative de TOTAL FOUNDATION

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

brgm Géosciences pour une Terre durable

UniLaSalle Terre & Sciences

INSTITUT DE FRANCE Académie des sciences

SOMMAIRE

Programme de la journée

13èmes Olympiades nationales des géosciences
Programme de la journée du mercredi 22 mai 2019

10h00 **Accueil des lauréats et des invités à la Société Géologique de France**
Salle Van Straelen 77, rue Claude Bernard - Paris 5e

10h20 **Allocution du représentant du ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse**

10h30 **Ouverture de la cérémonie par Jean-Marc MOULLET**
Inspecteur général de l'éducation nationale, groupe « Sciences et technologies du vivant, de la santé et de la Terre »

10 h 35 **Intervention de Sylvain CHARBONNIER**
Président de la Société Géologique de France

10 h 40 **Intervention du professeur Philippe TAQUET**
Membre correspondant de l'Académie des Sciences

10h45 **Intervention de Céline BERNARD-GRAILLE**
Ingénieure Réservoir – Total S.A.

11h00 **Intervention d'Edith KUBIK**
Présidente de la section « Jeunes » de la Société Géologique de France
Présentation des formations en géosciences et témoignages

11h15 **Remise des prix aux lauréats**
en présence des représentants des différentes institutions partenaires de l'événement

12h00 **Photographie de groupe**

12h15 **Cocktail déjeunatoire**

14h/16h **Conférence et visite au Muséum national d'Histoire naturelle**

Olympiades de géosciences 2019

– Présentation –

Les géosciences

Les géosciences sont les sciences de la planète. Leur objectif est à la fois de construire le grand récit argumenté de la planète (son histoire passée, son état présent, son avenir prévisible) et de participer à sa gestion responsable.

Né au cours de l'antiquité grecque, l'époque où Ératosthène de Cyrène (-276/-194), qui dirigea la bibliothèque d'Alexandrie, évalua rigoureusement la taille de la Terre, et, dit-on, se laissa mourir de faim parce qu'aveugle à la fin de sa vie, il ne pouvait plus regarder les étoiles, le mot géologie est attribué, du moins dans son sens actuel, à Diderot. Il signifie (ge=Terre, logos=discours raisonné) le discours raisonné sur la Terre : le grand récit argumenté, donc.

Surtout descriptive du 18ème siècle à la première moitié du 20ème, la géologie est alors « naturaliste », elle décrit et classe, les roches, les minéraux, les structures. Elle devient explicative à partir de la deuxième moitié du 20ème siècle. Elle intègre à cette occasion les apports et méthodes d'autres sciences : la physique (et naît la géophysique) avec l'invention de la tectonique des plaques (Le Pichon, 1972) ; la chimie (et naît la géochimie). Les géosciences s'intéressent alors surtout à la Terre profonde ou très profonde.

Aujourd'hui, les géosciences s'intéressent de plus en plus aux enveloppes fluides (atmosphère et hydrosphère) et à la relation entre les géosciences et les sciences de la vie (interactions entre biosphère et géosphère, évolutions couplées du vivant et du non vivant). Elles permettent également d'investir d'autres objets du système solaire comme en témoigne la toute dernière mission martienne : « Mars InSight » et qui doit permettre de mieux connaître la structure interne de cette planète.

Au-delà de ces aspects fondamentaux de production de connaissance, les géosciences ont de nombreuses applications pratiques et professionnelles : secteurs de l'énergie (prospection, exploitation), des matières premières, du climat, de la maîtrise des risques.

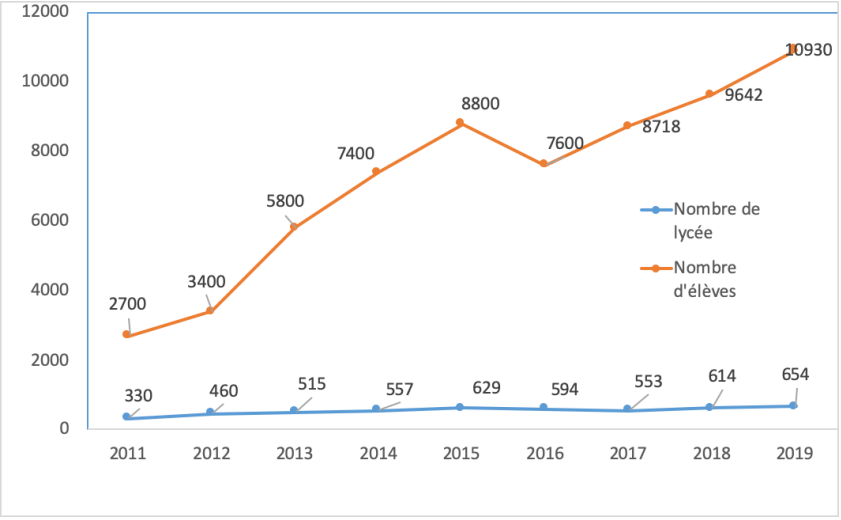
Les olympiades de géosciences

Les olympiades de géosciences sont nées en 2007 à l'occasion de l'année internationale de la planète Terre.

Elles s'appuient sur de nombreux parrainages d'institutions scientifiques et entreprises : Muséum national d'histoire naturelle, Académie des sciences, Société géologique de France, Muséum national d'histoire naturelle, Planète-énergies (une initiative de Total Foundation), le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), et UniLaSalle Beauvais. La mise en œuvre concrète repose sur la Direction générale de l'enseignement scolaire (DGESCO) et l'Inspection générale de l'éducation nationale (IGEN) et la logistique est prise en charge par la Société géologique de France. Ces olympiades visent à valoriser les géosciences et leur image auprès des jeunes élèves. Elles s'adressent à ceux des classes de première scientifique et demain à tous les élèves de première de la série générale.

Elles sont rendues possibles grâce à la mobilisation forte des professeurs de Sciences et Vie de la Terre (SVT) et de leurs inspecteurs, à la fois pour la production des sujets, l'organisation des épreuves et la correction. Ainsi, cette année, ce sont 34 inspecteurs d'académie, inspecteurs pédagogiques régionaux et 44 chargés de mission qui ont piloté en académie et pour l'Agence pour l'Enseignement français à l'étranger (AEFE) la mise en place du concours ; 535 professeurs ont été mobilisés sur les territoires pour corriger les épreuves ; 82 professeurs ont travaillé en académie à l'élaboration des sujets et une commission nationale composée de 7 inspecteurs d'académie, inspecteurs pédagogiques régionaux et présidée par un inspecteur général de l'éducation nationale a fait le choix et mis en forme les versions finales des épreuves.
En 2019, le nombre de lycées participants atteint 654 (dont 87 lycées français à l'étranger), le nombre d'élèves ayant composé est de 10930 (dont 1090 dans les lycées français à l'étranger).

Participation aux Olympiades nationales de Géosciences



Enjeux et objectifs

Le Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse a à cœur de soutenir les actions éducatives de culture scientifique car elles contribuent à donner le goût des études scientifiques aux élèves. Il est en effet essentiel de former des jeunes dans ces domaines pour que la France garde et conforte son avance scientifique. Les Olympiades de géosciences en sont l'un des exemples.

La stratégie nationale de culture scientifique, technique et industrielle a pour ambition de donner aux futures citoyennes et aux futurs citoyens les moyens de développer et renforcer leur curiosité, leur ouverture d'esprit, leur esprit critique en partageant la culture scientifique et la démarche scientifique.

Aussi, à l'Ecole, pendant le temps scolaire et périscolaire, est renforcée la politique de promotion de la science et de la technologie, favorisant l'acquisition et la compréhension de la démarche scientifique. Il s'agit notamment de :

- susciter chez nos élèves un plaisir d'apprendre tout en pratiquant des sciences ;
- inciter les jeunes, et notamment les jeunes filles, à se tourner vers les carrières scientifiques afin de permettre à la France de conforter son avance scientifique, son tissu industriel, son potentiel économique, sa capacité d'innovation et sa compétitivité en formant les techniciens, chercheurs, ingénieurs et entrepreneurs de demain ;
- préparer le futur citoyen à comprendre le monde qui l'entoure et à appréhender les défis sociétaux et environnementaux.

Les Olympiades de géosciences contribuent à relever ces défis. Les sciences de la Terre construisent leurs modèles explicatifs en mobilisant différentes disciplines : les sciences de la vie, la physique et la chimie, la technologie et les mathématiques sont parmi elles. Elles reposent sur la pratique de démarches scientifiques variées qui permettent à nos élèves de comprendre les grands enjeux du monde qui les entoure. C'est une science qui investit des objets complexes, qui forme à des compétences scientifiques variées et prépare efficacement les jeunes à des études exigeantes et passionnantes.

Les Olympiades de géosciences poursuivent ainsi différents objectifs :

- développer le goût des sciences chez les lycéens et les lycéennes ;
- favoriser l'émergence d'une culture scientifique adossée aux géosciences ;
- mettre en avant la dimension pluridisciplinaire des géosciences ;
- souligner le lien étroit entre les géosciences et l'éventail des métiers qui leur sont associés.

Olympiades de géosciences 2019

– Palmarès National –

&

– Candidats Félicités –

Olympiades de géosciences 2019 – Palmarès national

Lauréat national :

AUBRY Valentine. Institution Les Chartreux. Ville de Lyon. Académie de Lyon.

Médailles d'or par ordre alphabétique :

BANNWART Julie. Cité scolaire Jean Moulin. Ville de Forbach. Académie de Nancy-Metz.

BIAU Romane. Lycée François Magendie. Ville de Bordeaux. Académie de Bordeaux.

CHOPARD-LALLIER Aurélie. Lycée Le Gymnase Jean Sturm. Ville de Strasbourg. Académie de Strasbourg.

DANIELLO Noé. Lycée St Martin. Ville de Rennes. Académie de Rennes.

DUBIN Juwita. Lycée français de Shanghai. Ville de Shanghai. AEFE.

DUJEU Ambre. Lycée Europole. Ville de Grenoble. Académie de Grenoble.

FRITSCH Pauline. Lycée général et technologique Thiers. Ville de Marseille. Académie d'Aix-Marseille.

GUICHARD Louison. Lycée général et technologique René Descartes. Ville de Cournon d'Auvergne. Académie de Clermont-Ferrand.

HALBER Cédric. Lycée hoche. Ville de Versailles. Académie de Versailles.

HOSONO Carole. Lycée Camille Guérin. Ville de Poitiers. Académie de Poitiers.

MASSON Jennyfer. Lycée Appolinaire Anova. Ville de Paita. Nouvelle Calédonie.

MAUREL Dan. Lycée International Valbonne. Ville de Valbonne. Académie de Nice.

Médailles d’argent par ordre alphabétique :

ALOULOU Mohamed. Lycée Pierre Mendès France. Ville de Tunis. AEFE.

BERTSCH Alexandre. Lycée La Salle Maison Blanche. Ville de Saint Paul. Académie de La Réunion.

BLIN Quentin. Lycée Général et Technologique Pierre Larousse. Ville de Toucy. Académie de Dijon.

BRAGA Charlotte. Lycée Edouard Belin. Ville de Vesoul. Académie de Besançon.

JARDRI Rosalie. Lycée Jean Perrin. Ville de Lambersart. Académie de Lille.

KANE Djibril. Lycée De Bagatelle. Ville de Saint Gaudens. Académie de Toulouse.

KERMORGANT Maiwenn. Pensionnat de Versailles. Ville de Basse-Terre. Académie de Guadeloupe.

MACELIN Romain. Giocante de Casabianca. Ville de Bastia. Académie de Corse.

MALCOEFFE Dorian. Lycée Georges Cabanis. Ville de Brive -La-Gaillarde. Académie de Limoges.

MARESCHAL DE CHARENTENAY Brune. Lycée Saint Louis de Gonzague. Ville de PARIS. Académie de Paris.

MICHAUD Clélia. Lycée Guillaume Budé. Ville de Limeil Brévannes. Académie de Créteil.

PARE Romane. Lycée Charles de Gaulle. Ville de Londres. AEFE.

SAUNIER Justin. Lycée Gustave Flaubert. Ville de Rouen. Académie de Rouen.

Médailles de bronze par ordre alphabétique :

ARTIERES Yves. Lycée Gaston Monnerville. Ville de Kourou. Académie de La Guyane.

BENICHOU-CHAFFANJON Charles. Lycée Paul Gauguin. Ville de Pappeete. Polynésie Française.

BOUJDAI Zacharia. Lycée de Petite-Terre. Ville de Pamandzi. Académie de Mayotte.

DENIZOT Victoire. Lycée Saint-Charles. Ville d’Orléans. Académie d’Orléans-Tours.

HUYGHUES BEAUFOND Christopher. Séminaire collège Fort de France. Ville de Fort-De-France. Académie de La Martinique.

MONCOIFFET Léo. Lycée Auguste et Jean Renoir. Ville d’Angers. Académie de Nantes.

PICARD Corentin. Lycée Cassini. Ville de Clermont. Académie d’Amiens.

POTIER Marie. Lycée Déodat de Séverac. Ville de Céret. Académie de Montpellier.

SAVARD Tom. Lycée Jean Monnet. Ville de Mortagne au Perche. Académie de Caen.

SIMONOT Noémie. Lycée La Fontaine du Vé. Ville de Sezanne. Académie de Reims.

Olympiades de géosciences 2019 – candidats félicités par ordre alphabétique :

AHAMDACH Théo. Lycée français de Singapour. AEFE.

AJORQUE Gabrielle. Lycée Pierre Poivre. Académie de La Réunion.

ARTIS Théo. Lycée Coeffin. Académie de Guadeloupe.

AUDIN Lucile. Lycée La Fontaine du Vé. Académie de Reims.

BALDENBERGER Eugénie. Lycée Robert Schuman. Académie de Strasbourg.

BEAUDOUX Victoria. Lycée Joliot Curie. Académie d'Amiens.

BIANCA Cloé. Lycée Ella Fitzgerald. Académie de Grenoble.

BIGOT Ines. Lycée privé Nazareth Haffreingue. Académie de Lille.

BOCHARD Nathan. Lycée international Jeanne D'Arc. Académie de Clermont-Ferrand.

BOGET Aurore. Lycée Victor Duruy. Académie de Paris.

BONNEAU CHLOUP Louise. Lycée Fabert. Académie de Nancy-Metz.

BOSSARD Enzo. Lycée St Martin. Académie de Rennes.

BOUCHIAT Nouchine. Lycée Europole. Académie de Grenoble.

BOUDIER Kenzo. Lycée International de Valbonne. Académie de Nice.

BOUDOU Alix. Lycée des métiers Monnier - Mermoz. Académie de Clermont-Ferrand.

BRUN Héloïse. Lycée aux Lazaristes. Académie de Lyon.

BUTTIGIEZ Luca. Lycée général et technologique Alphonse Daudet. Académie d'Aix-Marseille.

CARDINAUD Anna. Lycée général et technologique Alphonse Daudet. Académie d'Aix-Marseille.

CAYRON Eva. Lycée Pierre Paul Riquet. Académie de Toulouse.

CERRINA Noémie. Lycée Louis-le-Grand. Académie de Paris.

CHANTEMARGUE ADRIEN. Lycée Hector Berlioz. Académie de Créteil.

CHARLOT Tom. Lycée technologique Gustave Eiffel. Académie de Dijon.

CHATAGNON Mathilde. Lycée du Mont Dore. Nouvelle Calédonie.

CLEMENT Simon. Lycée Camille Guérin. Académie de Poitiers.

DALBIES Jérôme. Lycée Louis Barthou. Académie de Bordeaux.

DE BAROLET Mathilde. Lycée Privé de Marcq. Académie de Lille.

DE BELLIS Victor. Lycée Camille Claudel. Académie de Dijon.

DEFRADAS Lou. Lycée Saint Joseph. Académie de Montpellier.

DELEFLIE Tipiane. Lycée de Bellepierre. Académie de La Réunion.

DEWAELE Léo paul. Lycée Blaise Pascal. Nouvelle Calédonie

DEZERE-HELLEQUIN Pauline. Lycée Charlotte Delbo. Académie de Créteil

DOYON Mathis. Lycée G. Réache. Académie de Guadeloupe

DURAND Iris. Lycée International Valbonne. Académie de Nice

ESQUERRE Marie. Lycée des métiers Catherine et Raymond Janot. Académie de Dijon

FENECH Maxime. Lycée Evariste de Parny. Académie de La Réunion.

FORTIER Thomas. Lycée Sainte Marie de Caen. Académie de Caen.

FORTOUL Julie. Lycée Marceau. Académie d'Orléans-Tours

FOURNIER Paul. Lycée Naval. Académie de Rennes.

FRADJ THEO. Lycée Guillaume Budé. Académie de Créteil.

GABET Simon. Lycée Descartes. Académie de Versailles.

GALTIER Thomas. Lycée Vaugelas. Académie de Grenoble.

GARDY Alice. Lycée international Jeanne D'Arc. Académie de Clermont-Ferrand.

GARREC Lucie. Lycée Édouard Belin. Académie de Besançon.

GARTET Nawel. Lycée Saint Louis de Gonzague. Académie de Montpellier.

GAUTRAT Alexandre. Lycée Fernand Renaudeau. Académie de Nantes.

GOBLET Issac. Lycée Tani-Malandi. Académie de Mayotte.

GODIN Anne-Laure. Lycée régional Nelson Mandela. Académie d'Aix-Marseille.

GOSNET Nino. Lycée Le Mans Sud. Académie de Nantes.

GRANT Jules. Lycée International Victor Hugo. Académie de Toulouse.

GRESLOU Tom. Lycée du Diois. Académie de Grenoble.

GUIEU Arsène. Lycée Melkior Egaré. Académie de Guyane.

GUIRAUD Sophie. Lycée Gay Lussac. Académie d'Amiens.

HALIDI Malik. Lycée de Petite-Terre. Académie de Mayotte.

HENAFF Nathan. Lycée Stendhal . Académie de Bordeaux.

INZOUDINE Mariame. Lycée de Petite-Terre. Académie de Mayotte.

KACK KACK Nathan. Lycée Sacré Cœur Lassale. Académie de Reims.

KAESSMAN Brieuc. Lycée Freppel. Académie de Strasbourg.

KIEFFER Marion. Lycée Jeanne d'Arc. Académie de Nancy-Metz.

KOAN Vaitiare. Lycée Paul Gauguin. Polynésie Française.

LACHANA Lise. Lycée Notre Dame Saint Sigisbert. Académie de Nancy-Metz.

LAMOTTE Enola. Lycée Charles Nodier. Académie de Besançon.

LAURENCE Marina. Lycée Saint Just. Académie de Lyon.

LAURENT Marie. Lycée Eugène Jamot. Académie de Limoges.

LE CALVEZ Eileen. Lycée Samuel Raapoto. Polynésie Française.

LE GUYADEC Laura. Lycée Jean-Paul II. Académie de Rennes.

LEMERCIER Emma. Lycée Laure Gatet. Académie de Bordeaux.

LESAGE Louison. Lycée Les Fontenelles. Académie de Rouen.

LOPEZ Romain. Lycée Georges Cabanis. Académie de Limoges.

LORENTZ Armande. Institution Sainte-Philomène. Académie de Strasbourg.

LOUAHLIA Sami. Lycée Jean Rostand. Académie de Caen.

LUCHETTI MORETTI. Lycée Pascal Paoli de Balagne. Académie de Corse.

MAC-CLURE Camille. Lycée Maine de Biran. Académie de Bordeaux.

MAGNAT Elodie. Lycée Saint Gabriel Saint-Michel. Académie de Nantes.

MALIAN Chloé. Lycée du Grand Nouméa. Nouvelle Calédonie.

MALLEPEYRE Nourrane. Lycée Blaise Pascal. Académie de Clermont-Ferrand.

MARCUS LOUIS MARIE Mailys. Lycée Bellevue Fort de France. Académie de Martinique.

MARETTE Foulques. Lycée Blaise Pascal. Nouvelle Calédonie.

MARIVAL Gabriel. Lycée Baimbridge. Académie de Guadeloupe.

MARTRET Alice. Lycée François 1e. Académie de Rouen.

MEDEVIELLE Marie. Lycée Thiers. Académie d'Aix-Marseille.

MILLIEX Alizée. Lycée Vincensini. Académie de Corse.

MOHAMED HALIDI Ramlati. Lycée de Petite-Terre. Académie de Mayotte.

MOLSKI Elliott. Lycée Français de Berlin. AEFE.

MONNIER Salomé. Lycée Jean de la Fontaine. Académie d'Amiens.

MORILLON Baptiste. Lycée Fernand Renaudeau . Académie de Nantes.

MOSER Nina. Lycée Henri Matisse. Académie de Toulouse.

MOURLHOU Magali. Lycée Saint Sernin. Académie de Toulouse.

MULON Ismaël. Lycée Melkior Egaré. Académie de Guyane.

NEEL Elena. Lycée Gustave FLAUBERT. Académie de Rouen.

NEVEU Oriana. Lycée Bellevue. Académie de Poitiers.

NILOR Lucas. Lycée La Jetée Le François. Académie de Martinique.

NOAILLY Alban. Lycée de la Montagne. Académie de Nice.

NOBLE Alexis. Lycée Rouvière. Académie de Nice.

NODIER Elsa. Lycée Zobel. Académie de Martinique.

NOLIN Anna. Lycée Fabert. Académie de Nancy-Metz.

NOSLIER Mathieu. Lycée Thomas Hélye. Académie de Caen.

OLYMPIE Maya. Lycée Jean Baptiste de la Salle. Académie de Rouen.

PARE Romane. Lycée Charles de Gaulle, Londres. AEFE.

PEREZ Mathias. Lycée privé de Marcq. Académie de Lille.

PETITGENET Lucas. Lycée Édouard Belin. Académie de Besançon.

PHILIPPE Elisa. Lycée Bellevue. Académie de Poitiers.

PICARD Clément. Lycée Jacques Monod. Académie d'Orléans-Tours.

PICHAUD Edith. Lycée Gustave Eiffel. Académie de Dijon.

PIGEOT Sarah. Lycée Camille Guérin. Académie de Poitiers.

PIRY Alexane. Lycée Bernard Palissy. Académie de Limoges.

POST Solenn. Lycée Marceau. Académie d'Orléans-Tours.

RANDRIAMBOLOLONA Marie. Lycée Charles De Gaulle. Académie de Caen.

RIBEIRA Pauline. Lycée Christian Bourquin. Académie de Montpellier.

RICHARD Lou. Lycée Herriot. Académie de Lyon.

RICHOMME Gwendal. Lycée Félix Le Dantec. Académie de Rennes.

ROMEO. Lycée Giocante de Casabianca. Académie de Corse.

ROUSELLE Naomi. Lycée Franklin ROOSEVELT. Académie de Reims.

SAINT CHARLES Ines. Lycée Paul Gauguin. Polynésie Française.

SALIOU Domitille. Lycée Louis-le-Grand. Académie de Paris.

SCHAISON LOUNA. Lycée Berthelot. Académie de Créteil.

SCHMITT Julia. Lycée Louis Pasteur. Académie de Strasbourg.

SERIN Isaure. Lycée Paul Gauguin. Polynésie Française.

SOSSAH Marthe. Lycée Leconte De Lisle. Académie de La Réunion.

SOUCHAL Anaïs. Lycée Eugène Jamot. Académie de Limoges.

SOUSA Mahé. Lycée Giocante de Casabianca. Académie de Corse.

STECK Antoine. Lycée Jeanne d'Albret. Académie de Versailles.

STOLZ Emma. Lycée Saint Jean de Passy. Académie de Paris.

SUGY Marie-Caroline. Institution Les Chartreux, Lyon. Académie de Lyon.

TASSERIT Clémence. Lycée privé de Marcq. Académie de Lille.

TERROT Salomé. Lycée Jules Verne. Académie de Versailles.

TIRDAD Ayoub. Lycée Camille Saint Saens. Académie de Versailles.

TUTIN Lucie. Lycée Pierre de la Ramée. Académie d'Amiens.

VERT Baptiste. Lycée Victor Considérant. Académie de Besançon

VEYRAC Grégoire. Lycée Marceau. Académie d'Orléans-Tours.

VISENTIN Jade. Lycée Frantz FanonTrinité. Académie de Martinique.

VULSTEKE Guillaume. Lycée La Fontaine du Vé. Académie de Reims.

WENDEROTH Emile. Lycée Docteur Lacroix. Académie de Montpellier.

Olympiades de géosciences 2019

–Les partenaires –

Société Géologique de France
Des géologues au service de la société

La SGF est une association reconnue d'utilité publique qui a pour objet :

- Le développement des sciences de la Terre et des Planètes ainsi que ses rapports avec l'industrie, l'agriculture, l'environnement, l'éducation…
- La promotion des géosciences, de leur excellence professionnelle et des disciplines qui les constituent ;
- La diffusion des connaissances dans les différentes spécialités ;
- La représentation et la défense des géologues, au niveau national et international ;
- L'accueil des amateurs, la vulgarisation et la médiation scientifique.

Les actions de la Société géologique de France s'organisent grâce à différents vecteurs : son site Internet, des réunions scientifiques et techniques, des conférences, des excursions, la publication de revues et d'ouvrages, son centre de documentation, son service emploi, sa présence sur les réseaux sociaux…

Son engagement dans l'organisation des Olympiades de géosciences démontre sa volonté de promouvoir les sciences de la Terre et les métiers associés auprès des élèves et enseignants de SVT. La SGF souhaite leur apporter un soutien en matière d'information, de documentation et de conseils sur les métiers des géosciences qui occupent une position clé dans notre société où les questions de préservation des ressources, d'approvisionnement en matières premières et d'environnement sont au cœur de nombreux débats.

Au-delà de sa caution scientifique, la Société géologique de France apporte son soutien à l'organisation et la gestion de cet événement depuis 2011.

www.geosoc.fr

Parce que l'énergie est au cœur de nombreux enjeux d'avenir, et parce que chacun d'entre nous cherche à se forger sa propre opinion, la marque pédagogique Planète Énergies a été créée en 2005. Sous l'égide de Total Foundation depuis janvier 2019, cette initiative donne des clés de compréhension sur toutes les énergies aux jeunes générations, et à tout public s'intéressant aux questions de l'énergie.

Une ligne éditoriale claire

Planète Energies est une plateforme en ligne, disponible en français et en anglais, qui publie des décryptages conçus par une équipe éditoriale dédiée et des actualités de nos partenaires médias. Des infographies claires, des vidéos, des dossiers, des images illustratives concourent à l'explication très pédagogique des grands enjeux énergétiques. Le site couvre toutes les énergies, qu'il s'agisse des énergies fossiles, du nucléaire ou des énergies renouvelables. Il explore l'histoire et les voies du futur et s'intéresse à toutes les incidences et applications de l'énergie : la vie quotidienne (habitat, transports, consommation), l'innovation technologique, les métiers, les équilibres économiques, l'environnement, le réchauffement climatique, le développement des pays émergents... Sa ligne directrice, la pédagogie, implique fiabilité et neutralité.

Le conseil éditorial du site, composé d'experts d'horizons divers, est le garant de la qualité et de l'ouverture du site.

Un espace dédié aux enseignants

Sur sa plateforme pédagogique, Planète Énergies a dédié un espace privilégié aux enseignants du primaire et du secondaire, favorisant ainsi l'interactivité des professionnels de l'éducation sur les énergies. Ils peuvent également y retrouver des ressources pédagogiques gratuites (conférences en classes, kits pédagogiques), des portes ouvertes, des jeux, des concours.

Près de 6 000 élèves ont rencontré des professionnels volontaires durant l'année scolaire 2017-2018.

http://www.planete-energies.com/fr

INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Depuis sa création en 1666, l'Académie des sciences se consacre au développement des sciences et conseille les autorités gouvernementales en ce domaine. Indépendante et pérenne, placée sous la protection du président de la République, elle est l'une des cinq académies siégeant à l'Institut de France.

Au début des années 2000, l'Académie s'est dotée de nouveaux statuts lui permettant d'augmenter et rajeunir son effectif, afin de répondre à l'accroissement des connaissances scientifiques et à l'élargissement des domaines de recherche. Aujourd'hui riche de 268 membres, 117 associés étrangers et 71 correspondants, élus parmi les scientifiques français et étrangers les plus éminents, l'Académie des sciences est pluridisciplinaire et largement ouverte à l'international. Ses membres réalisent leurs travaux au sein de comités de réflexion thématiques en interaction étroite avec les instances de gouvernance statutaires.

L'Académie exerce cinq missions fondamentales : encourager la vie scientifique, promouvoir l'enseignement des sciences, transmettre les connaissances, favoriser les collaborations internationales et assurer un rôle d'expertise et de conseil.

La science est en évolution constante et appartient à la culture de tout citoyen de notre époque. Il convient donc de sensibiliser les plus jeunes dès leurs apprentissages à l'école par l'intermédiaire de l'enseignement des sciences qui leur est prodigué, tout en essayant d'harmoniser au mieux cet enseignement au niveau international.

www.academie-sciences.fr

MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Au carrefour des sciences de la Terre, de la Vie et de l'Homme, le Muséum national d'Histoire naturelle se consacre quotidiennement – et ce depuis près de 400 ans – à la nature et à ses relations avec l'espèce humaine.

Centre de recherche, le Muséum s'appuie sur des travaux en laboratoire et des expéditions dans le monde entier, un grand éventail de disciplines, des collections exceptionnelles et une expertise reconnue.

A travers l'enseignement ou les actions de diffusion, il a également pour mission de partager ses savoirs avec un objectif clair : rendre les connaissances sur la nature accessibles à tous et sensibiliser le plus grand nombre à la protection de notre planète.

C'est donc dans cette optique de valorisation des sciences de la Terre et de leur image auprès des élèves du secondaire que le Muséum soutient les Olympiades nationales et internationales de Géosciences.

L'institution rassemble 2 000 personnes dont 500 chercheurs, forme environ 350 étudiants par an, abrite 67 millions de spécimens dans ses réserves et ses galeries et accueille chaque année près de 3 millions de visiteurs dans 12 sites à travers la France.

www.mnhn.fr

Grande école d'ingénieurs post-bac membre du vaste réseau mondial des universités La Salle, UniLaSalle propose des formations d'ingénieurs dans les Sciences de la Terre, du Vivant et de l'Environnement.

Les problèmes traités en Sciences de la Terre sont à la croisée de nombreuses disciplines enseignées au lycée : géologie, biologie, physique-chimie, informatique, mathématiques !

En effet, le « géoscientifique » exerce dans de nombreux domaines en relation avec les énergies, le climat, l'eau, la construction, l'aménagement du territoire, les travaux publics, les risques naturels, le génie environnemental, les matériaux, le génie minier...

Véritable détective, il cherche à mieux comprendre notre planète, son histoire, ses ressources et sa fragilité. Immergé au cœur des enjeux de la planète, il fait des « études de rêve » encadré par des spécialistes de ces domaines, experts nationaux et internationaux.

www.unilasalle.fr

Le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) a été créé en 1959. Placé sous la tutelle du ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse, du ministère de la transition écologique et solidaire et du ministère de l'Economie, le BRGM est l'établissement public de référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol.

Les actions du BRGM s'articulent autour de 5 missions : recherche scientifique, appui aux politiques publiques, coopération internationale, sécurité minière et formation (par le biais de sa structure « BRGM Campus », le BRGM intervient en soutien à l'enseignement supérieur dans le domaine des géosciences).

Autour de la géologie, son cœur de métier, l'activité du BRGM est organisée autour de la réponse à six grands enjeux sociétaux : Géologie et connaissance du sous-sol - Ressources minérales et économie circulaire - Risques et aménagement du territoire - Gestion durable des eaux souterraines - Transition énergétique et espace souterrain - Données, services et infrastructures numériques.

Le BRGM, déjà très actif sur les Olympiades académiques de géosciences encourage désormais les Olympiades de Géosciences au niveau national.

http://www.brgm.fr/

Olympiades de géosciences 2019
–Les intervenants –

Céline Bernard-Graille, Ingénieure Réservoir – Total S.A.

Céline Bernard-Graille découvre Total et le métier d'ingénieur réservoir par un V.I.E. (Volontariat International en Entreprise) aux Emirats Arabes Unis en 2002 ; elle est alors tout juste diplômée de Mines ParisTech.

Elle se passionne pour son rôle, très opérationnel : suivre la production offshore, préparer et superviser les campagnes d'acquisition de données sur les puits de développement, qui visent à mieux comprendre le gisement.

Elle décide de suivre cette voie et approfondit sa connaissance des géosciences au travers de ses différentes affectations, en filiale (Italie, Royaume-Uni, Australie) et au siège. Celles-ci lui permettent de comprendre les différentes étapes du développement d'un gisement pétrolier, d'appréhender la diversité des environnements géologiques, et de collaborer avec des professionnels passionnés, géologues, géophysiciens, foreurs, architectes pétroliers.

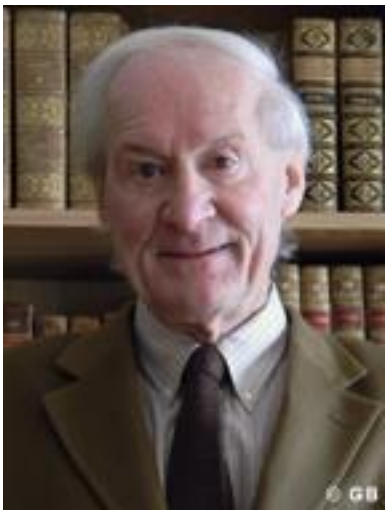
Depuis 2017, elle est chargée, dans l'entité Développement et Support aux Opérations de la branche Exploration-Production, de la coordination des études géosciences et réservoir réalisées en support aux filiales pour préparer les futurs développements en eaux profondes du Groupe.

Edith KUBIK, présidente de la section « Jeunes » de la Société Géologique de France

Après une licence et un master de Géosciences à Brest, Edith Kudik a commencé une thèse en 2017 à l'Institut de Physique du Globe de Paris dans l'équipe Cosmochimie, Astrophysique et Géophysique expérimentale. Son travail porte sur la formation des planètes et particulièrement l'accrétion des éléments volatils. Elle consiste en l'étude d'expériences pétrologiques de haute pression et haute température ainsi que de météorites.

Ayant participé aux deux premières éditions des week-end "Intergéol" organisés par la section Jeunes de la SGF, Edith Kudik a décidé de s'investir au sein de cette section afin de poursuivre l'organisation de ces grands rassemblements de jeunes géologues venant de toute la France. Ils sont, pour elle, un grand moment de rencontres, d'échanges et de bonne ambiance.

Professeur Philippe Taquet, Membre de l'Académie des Sciences



Philippe Taquet est professeur émérite au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN). Il est paléontologue, spécialiste des dinosaures. Il a été président de l'Académie des sciences de 2013 à 2014.

Mondialement reconnu pour ses travaux il a effectué plus de 60 missions sur le terrain dans nombreux pays : Niger, Maroc, Brésil, Argentine, Bolivie, Mongolie Extérieure, Madagascar, Thaïlande, Laos, etc.

Il est l'auteur de nombreux livres et publications (plus de 170) dont un plus particulièrement destiné au grand public « L'empreinte des Dinosaures » publié en 1994 aux éditions Odile Jacob.

Il a organisé, suivi ou fait partie du commissariat de plusieurs expositions à destination du grand public.

Le Professeur Philippe Taquet est aujourd'hui rédacteur en chef des Comptes Rendus de l'Académie des sciences Palevol (depuis 2002), il est le lecteur d'articles pour de nombreuses revues paléontologiques françaises et internationales (Nature, Journal of Vertebrate Paleontology, Revue de Paléobiologie, Geobios etc.)

Il est consultant pour des projets de recherche (NSF, National Geographic Society, Jurassic Foundation, Fondation de France etc.)

Olympiades de géosciences 2019

– Sujets nationaux –

Olympiades de géosciences 2019

Mayotte – Métropole – La Réunion

Épreuve écrite du 28 mars 2019

Durée de l'épreuve : 4 h

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 n'est pas autorisée.

Ce sujet comporte 17 pages avec un document à rendre avec sa copie

Exercice 1 : L'œil de Richat

Au fond du désert du Sahara occidental, en Mauritanie, une structure circulaire spectaculaire peut être vue depuis l'espace. Elle est appelée « l'œil d'Afrique » ou la structure de Richat (*Guelb er Richat*). Théodore Monod est le tout premier scientifique à visiter cette étrange formation en 1934 mais ce n'est qu'au milieu des années 1960, lorsque la station spatiale internationale Gemini l'a observée de son orbite, que celle-ci attire l'attention… au point de devenir un repère pour les astronautes !
Elle mesure 50 km de diamètre et couvre une superficie totale de 1 030 700 km^2.

Document 1 - Vue de la structure de Richat depuis l'espace et situation en Mauritanie.

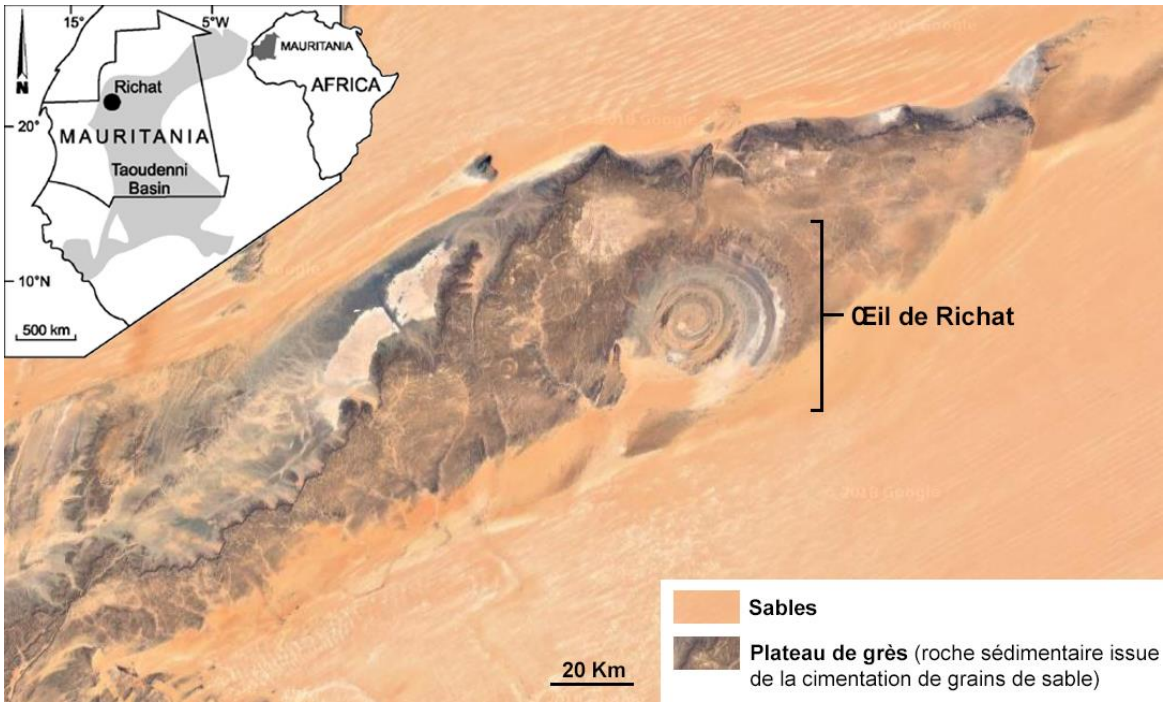


Image Google Earth

Objectif général : on cherche à comprendre l'origine de cette structure si spectaculaire.

Les théories les plus fantaisistes circulent sur l'origine de cette structure telles qu'une piste d'atterrissage pour OVNI, des inscriptions en creux réalisées par des extraterrestres ou encore des structures générées par des vents tourbillonnants.
Les géologues ont proposé d'autres hypothèses un peu moins farfelues. Il pourrait s'agir :

- **d'un cratère d'impact météoritique ;**
- **d'une caldeira, dépression circulaire issue de l'effondrement d'une chambre magmatique après sa vidange.**

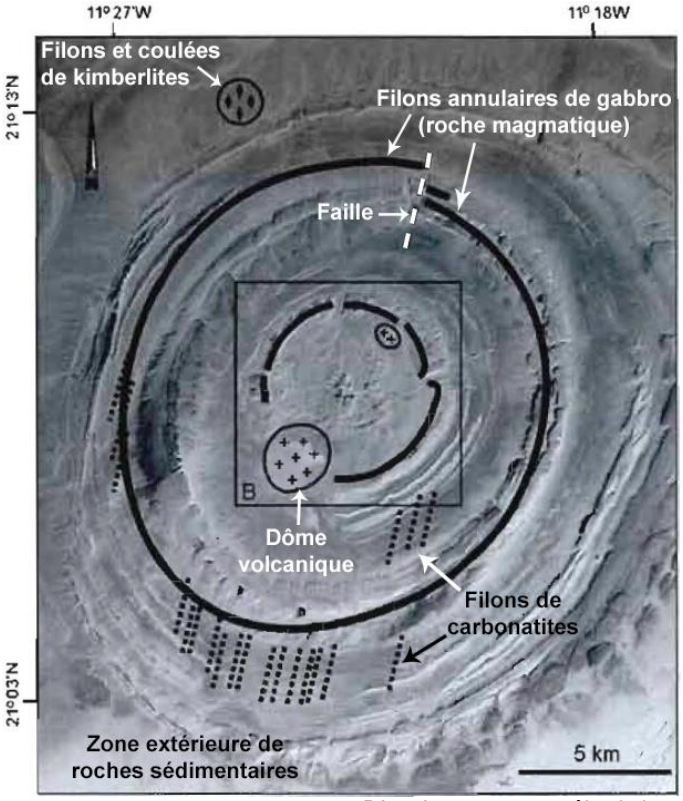
<u>Question 1</u>
À partir des documents 2 à 4, identifier les arguments susceptibles de valider l'une ou l'autre de ces 2 hypothèses.

<u>Question 2</u>
Exploiter les documents 1 à 5 pour reconstituer l'histoire de l'Œil de Richat : choisir parmi les deux propositions sur la feuille réponse celle qui correspond à l'hypothèse retenue, la joindre à votre copie et établir, en la justifiant, la chronologie des principaux évènements géologiques qui ont conduit à la structure actuelle.

Document 2 - Caractéristiques de l'Œil de Richat

L'Œil de Richat mesure 50 km de diamètre et a un dénivelé (différence d'altitude) de 30 à 40 mètres.

a- Caractéristiques géologiques de la structure de Guelber Richat superposée sur une image satellite.



D'après Matton et Jébrak (2008)

<u>Roches rencontrées dans la zone extérieure</u> :

- roches sédimentaires datées entre - 700 et - 450 millions d'années (Ma) ;
- roches magmatiques sous forme de filons, notamment de carbonatites (roches riches en carbonates) et de kimberlites (roches issues du refroidissement d'un magma très riche en fluides, H_2O et CO_2, ce qui entraîne une mise en place explosive). Ces filons, datés à - 99 Ma ± 5, mesurent en moyenne 300 m de long et quelques mètres d'épaisseur.

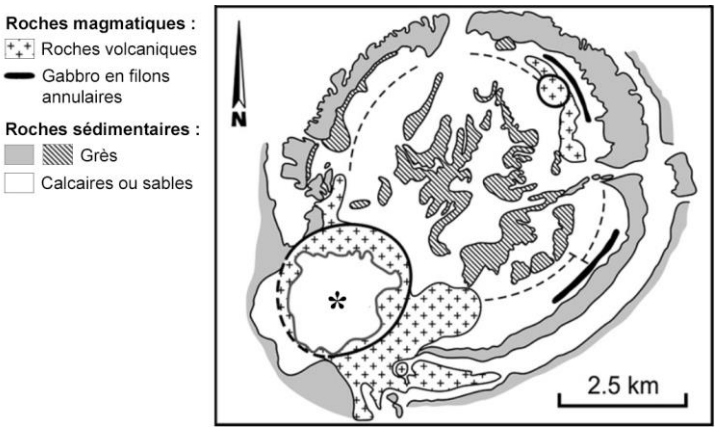
<u>Roches rencontrées au centre de la structure</u> :

- brèches hydrothermales, roches issues de l'altération d'autres roches, liées ici à de la circulation de fluides (H_2O,…) chauds.
- roches magmatiques sous forme de dômes volcaniques contenant des quartz **non choqués**.

b- Image satellite de la partie centrale de l'Œil de Richat correspondant à l'encadré B.

Image Google Earth

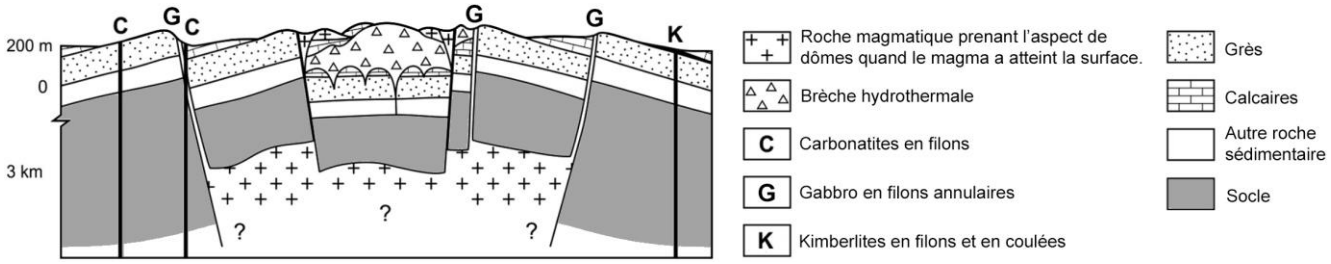
c- Caractéristiques géologiques du centre de l'Œil de Richat correspondant à l'encadré B.



The "eye of Africa'' (Richat Dôme, Mauritania) : an isolated Cretaceous alkaline-hydrothermal complex. Matton & Jébrak.

Les crêtes circulaires bordant le centre de la structure de Richat sont constituées de grès. La zone encerclée (✶) comprend un complexe de roches sédimentaires fissurées (dont des calcaires) et de roches volcaniques altérées qui sont datées de - 98,2 Ma ± 2,6.

Document 2d - Coupe de la structure de Guelb er Richat.



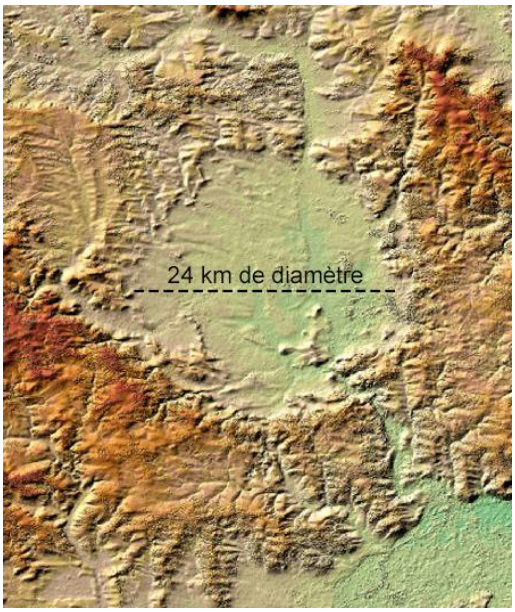
Le socle, antérieur à - 700 Ma, est constitué d'une ancienne lithosphère continentale très rigide.
L'ensemble des roches magmatiques est daté aux alentours de - 99 Ma.

D'après Matton et Jébrak (2008)

Document 3 - Cratère d'impact météoritique.

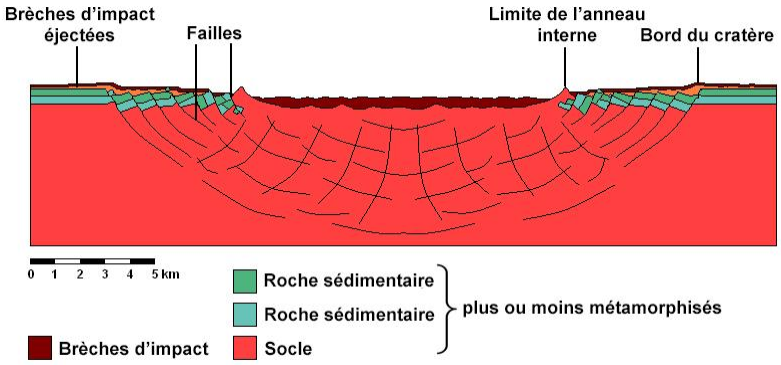
La taille des cratères d'impact météoritique, variable, est habituellement comprise entre 2 et 200 km de diamètre.
Le cratère Ries, situé en Allemagne, dont la structure a été bien étudiée, est ici exploité en exemple.

a- Image satellite du cratère Ries.
Relief : environ 50 mètres de dénivelé.



M. Gottwald - German Aerospace Center.

b- Coupe géologique simplifiée du cratère Ries.



Wikipedia

Roches rencontrées en lien avec l'impact de la météorite :

- brèches d'impact : roches constituées de fragments anguleux unis par un ciment. Elles présentent des quartz choqués qui témoignent des conditions de haute pression et de haute température causées par l'impact. Les brèches d'impact se rencontrent dans les zones centrale et périphérique du cratère.
- tectites : fragments de roches fondues, expulsés en dehors du cratère lors de l'impact (tectites non figurées).
- roches métamorphiques : roches préexistantes qui ont été transformées, à l'état solide, suite aux variations de pression et de température ici causées par l'impact.

Document 4 - Caldeira d'un volcan

La taille des caldeiras est variable, de 2 et 80 km de diamètre.

4a- Vue aérienne d'une caldeira

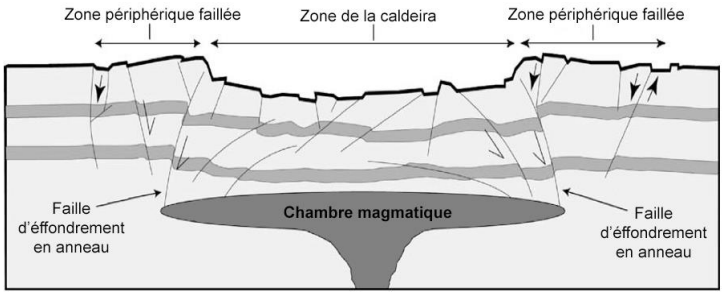
Exemple du Piton de la Fournaise sur l'ile de la Réunion (France).

Une caldeira est une dépression circulaire ou elliptique, située au cœur de certains grands édifices volcaniques, qui résulte d'une éruption ayant vidé la chambre magmatique sous-jacente, ce qui a provoqué son effondrement.

Le volcan actuel s'est édifié en plusieurs phases, créant plusieurs caldeiras imbriquées. Le dernier effondrement, de 9 km de large et 13 de longueur environ, fait 400 m de profondeur. Avant érosion, sa profondeur était encore plus importante

Observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise - Institut de physique du globe de Paris.

4b- Coupe géologique simplifiée d'une caldeira



.

The Great Eucrite intrusion of Ardnamurchan, Scotland: Reevaluating the ring-dike concept. O'Driscoll, Troll, Reavy & Turner.

Roches rencontrées côté extérieur :
- roches sédimentaires ;
- roches magmatiques volcaniques en coulées ou projetées.

Roches rencontrées au centre de la structure :
- roches sédimentaires ;
- roches magmatiques en filons, dans les failles, ou en coulées, dans les petits cratères situés en surface.

Document 5 – Aide à la reconstitution de l'histoire géologique de l'œil de Richat

On cherche maintenant à expliquer **les étapes de la formation de cette structure :** le bombement global de cette structure, les décrochements verticaux des différents compartiments centraux et la mise en place des filons. La **datation relative** permettra d'ordonner, les uns par rapport aux autres, des structures (roches, failles,…) et des évènements géologiques variés (**sédimentation** c'est-à-dire dépôt et formation de roches sédimentaires au fond d'un bassin marin, **intrusion** d'un filon magmatique dans une autre formation rocheuse en profondeur, apparition d'une **faille** qui casse une roche déjà présente, etc…).

Les principes de chronologie relative sont les suivants :

1- **une structure qui en recoupe une autre est plus jeune que celle qu'elle recoupe**, par exemple, si une faille ou un filon recoupe une autre roche, alors elle ou il s'est formé après cette roche.

2- **les fragments de roche inclus dans une autre roche sont plus anciens que leur contenant** ; par exemple, si des galets sont inclus dans un grès, alors ils proviennent d'une roche qui s'est formée avant ce grès.

3 - **une couche de roches sédimentaires (ou une coulée ou une projection volcanique) est plus récente que celle qu'elle recouvre et est plus ancienne que celle qui la recouvre**.

NB : Répondre à la question 2 sur la feuille réponse jointe en fin de sujet, à laisser avec votre copie

Exercice 2 : Les belles pierres de Florence

La ville de Florence, en Toscane, est célèbre pour sa richesse artistique exceptionnelle. Berceau de la Renaissance italienne, elle abrite de nombreux palais, églises et musées.
Un visiteur remarque rapidement que la majorité des monuments anciens de la ville emploient deux types de pierres de construction : des blocs de couleur ocre-brun, souvent assez grossièrement taillés, et des pierres ornementales de couleur gris-bleu, souvent gravées et sculptées.
La roche brune est désignée localement sous le nom de ***pietra forte*** (littéralement « pierre solide ») et est utilisée au moins depuis l'époque Romaine. Elle domine dans les édifices du Moyen-âge et est employée comme matériau de construction jusqu'à nos jours.
La roche grise est désignée sous le nom de ***pietra serena*** (littéralement « pierre tranquille » ou « pierre couleur de ciel ») et est utilisée au moins depuis l'époque étrusque. Cependant, ce sont principalement les architectes et sculpteurs de la Renaissance, tels que Brunelleschi, Michelangelo et Vasari, qui l'ont massivement employée.

Quels peuvent-être les intérêts architecturaux et l'origine géologique de ces roches ?

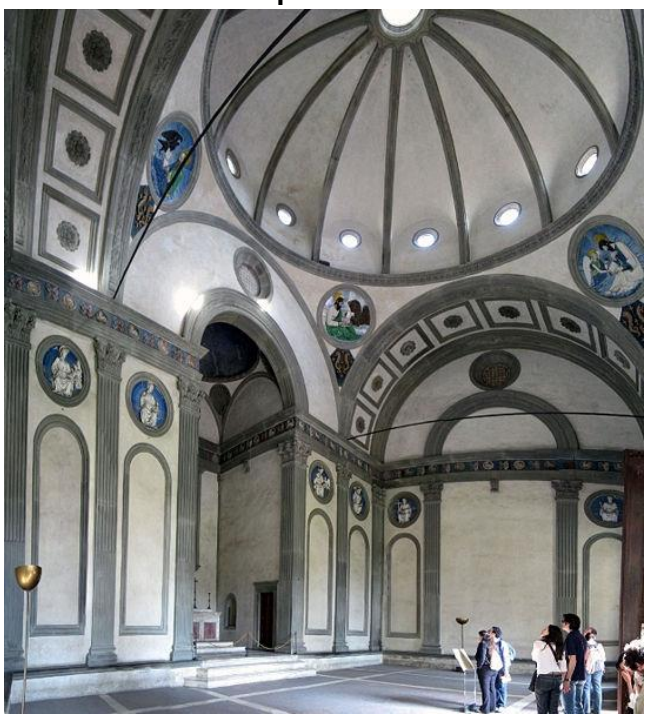
Question 1 :
D'après l'étude des documents 1 à 6, expliquer les choix architecturaux de l'utilisation des deux types de roches.

Question 2 :
Le document 8 présente un modèle de formation de dépôts sédimentaires particuliers : les turbidites. À partir des documents 4, 5, 7, 8 et 9, argumenter de la pertinence de ce modèle pour expliquer la formation des *pietra* de Florence.

Document 1 - Quelques exemples d'utilisation de la *pietra serena* à Florence

La pierre ornementale grise employée ici dans les colonnes, corniches, ogives, panneaux sculptés, etc. est la *pietra serena.*

Document 1a - La chapelle des Pazzi



Document 1b - L'annonciation de Donatello

Document 2 - Quelques exemples d'utilisation de la *pietra forte* à Florence

La pierre de construction ocre-brun employée ici dans les murs, pavage des sols, etc. est la *pietra forte.* Elle est rarement utilisée en sculpture en raison de sa grande dureté qui la rend malaisée à travailler.

Document 2a - Le Palazzo Vecchio

©JoJan

© Mattana — Travail personnel

Document 2b - Le Palazzo Pitti

©Jean-Christophe BENOIST

La *pietra serena* a été finement sculptée et dorée par l'artiste de la Renaissance Donatello.

© Miguel Hermoso Cuesta - Travail personnel

Document 3 - Analyses pétrologiques de la *pietra serena* et de la *pietra forte*

La *pietra serena* et la *pietra forte* sont des grès, c'est-à-dire des roches sédimentaires issues principalement de l'agrégation et de la cimentation de grains de sable divers. La formation de la *pietra serena* date approximativement de -30 à -20 Ma (période Oligocène et début du Miocène). La *pietra forte* est un peu plus ancienne, datée de -100 à -66 Ma (Crétacé supérieur).
La résistance mécanique et chimique de la *pietra serena* comme celle de la *pietra forte* dépendent de la composition et de la structure minéralogique (proportions d'argile et de calcaire plus ou moins importantes, grains de sable plus ou moins bien cimentés…). Certaines strates sont de meilleure qualité pour l'architecture et la sculpture. Elles étaient recherchées et exploitées spécifiquement à la Renaissance.

Document 3a - Composition minéralogique moyenne des deux grès

	Grains de sable (au sens large) de diverses natures			**Ciment liant les grains entre eux**	
	Fragments de roches préexistantes diverses	Quartz	Feldspath	Calcite	Minéraux argileux
Pietra serena	+/-	++	+	+	++
Pietra forte	++	+	+/-	++	+

Légende : +/- présence rare ; + présence en proportion modérée (<25%) ; ++ présence en abondance (>25%).

Document 3b - Caractéristiques physico-mécaniques moyennes des deux grès

La résistance à la compression traduit la pression maximale que peut supporter une roche sans casser. À titre de comparaison, certaines roches peu résistantes (ex : argiles)

Résistance à la compression	
Pietra serena	100 MPa
Pietra forte	156 MPa

ont une résistance d'une dizaine de MPa seulement, et ne peuvent pas supporter le poids d'un édifice. D'autres roches (ex : granites et basaltes non-fissurés) résistent au contraire à plusieurs centaines de MPa.

D'après M. Coli et al., Pietra Serena Mining in Fiesole. Petrographic Observations, Studies in Conservation, 1974

Document 4 - Ancienne carrière de *pietra serena* sur le Monte Ceceri

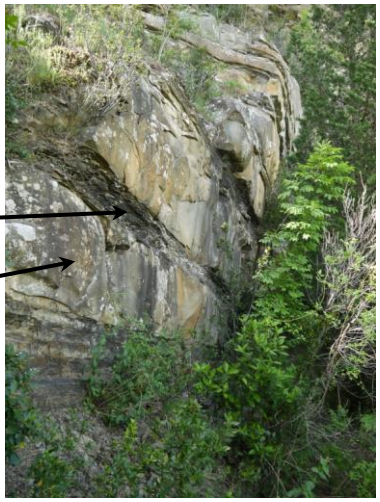
Document 4a- Les strates de *pietra serena* sont ici inclinées de 15 à 20° vers le Nord. Une épaisse couche de grès particulièrement intéressante a été exploitée en laissant quelques piliers pour éviter l'effondrement des chambres souterraines. Les strates formant le toit (couche supérieure) de la carrière, trop riches en argile, donc moins résistantes, n'ont pas été exploitées. Des blocs menacent d'ailleurs aujourd'hui de s'en détacher et de tomber sur les visiteurs imprudents qui franchiraient les barrières de sécurité.

Document 4b- Affleurement de *pietra serena*

Les couches très riches en argiles sont plus sensibles à l'érosion. Seules les couches gréseuses étaient utilisées en architecture et en sculpture à la Renaissance.

Couche argileuse

Couche gréseuse riche en grains de sable grossiers



Photos : Matthias Schultz, 2015

Document 5 - Affleurement de *pietra forte* dans une carrière actuelle près de Florence

Cet affleurement montre également une alternance de strates de grès assez épaisses et de strates fines plus riches en argiles. Les strates de grès résistent davantage à l'érosion et apparaissent donc en relief. Seules ces couches de grès sont utilisées en architecture et en sculpture.

Couche argileuse

Couche gréseuse

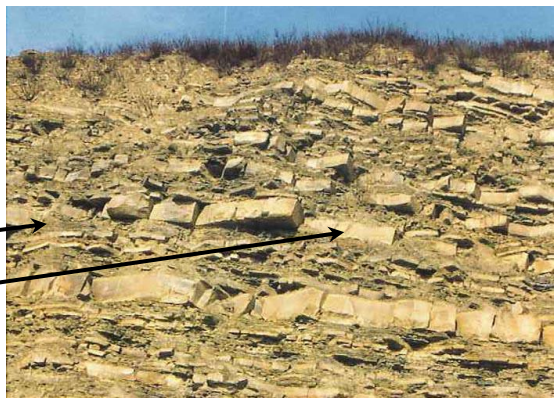


Photo : http://www.italbuildsrl.it, 2018

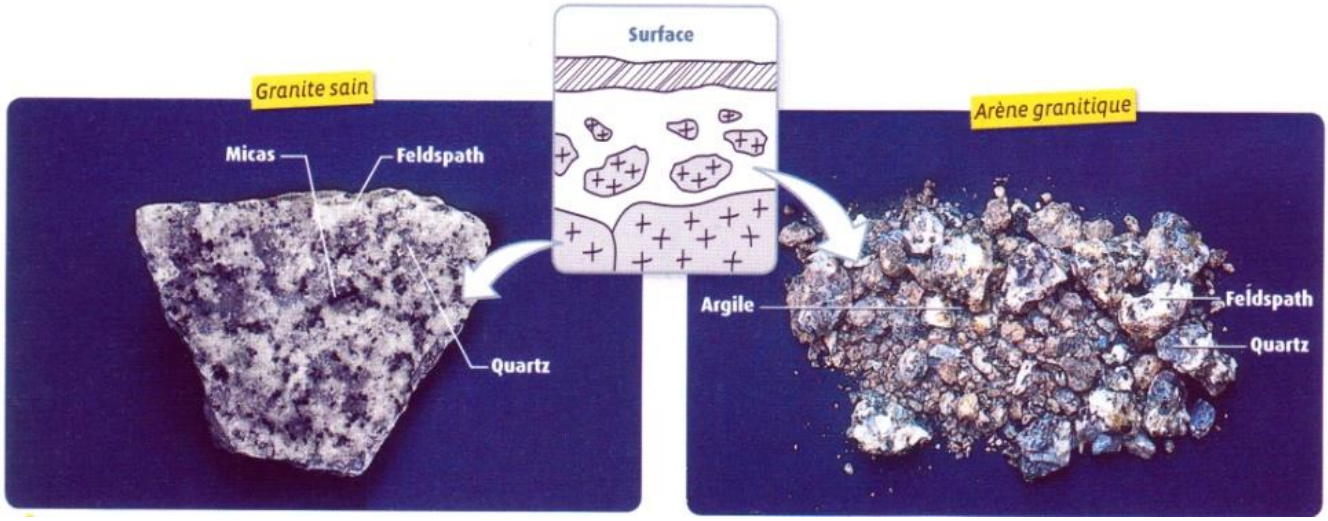
Document 6 - Altération des deux grès avec le temps

Ce lion sculpté devant le musée Marini est en *pietra serena*. On remarque que la façade du musée, derrière le lion, est très peu dégradée. Elle est construite en *pietra forte* de couleur brune.

Photo : Matthias Schultz, 2015.

Document 7 - Origine de certaines particules retrouvées dans les dépôts sédimentaires

L'altération et l'érosion des roches continentales produisent des particules qui pourront être transportées par les cours d'eau, puis être déposées dans des bassins sédimentaires plus ou moins proches (lacs, océans…).
Ainsi, par exemple, l'altération des granites, roches typiques de la croûte continentale, produit des fragments rocheux de diverses tailles et un sable argileux appelé « arène granitique ».



		Granite sain	Arène granitique
Quelques minéraux présents	Quartz	25 %	27 %
	Feldspath	54,5 %	10,1 %
	Argile	0 %	44,4 %

D'après manuel de SVT 2nde Belin 2010

Document 8 - Des dépôts sédimentaires particuliers, les turbidites

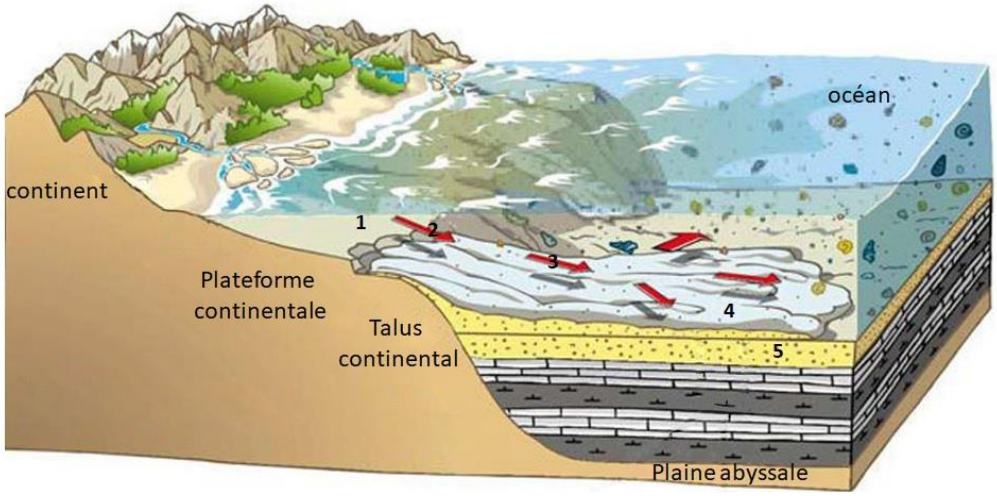
Document 8a - Turbidite datant du Miocène à Gorgoglione (sud de l'Italie).

On distingue l'alternance de niveaux de grès en relief, et d'argiles en retrait.

D'après Wikipédia

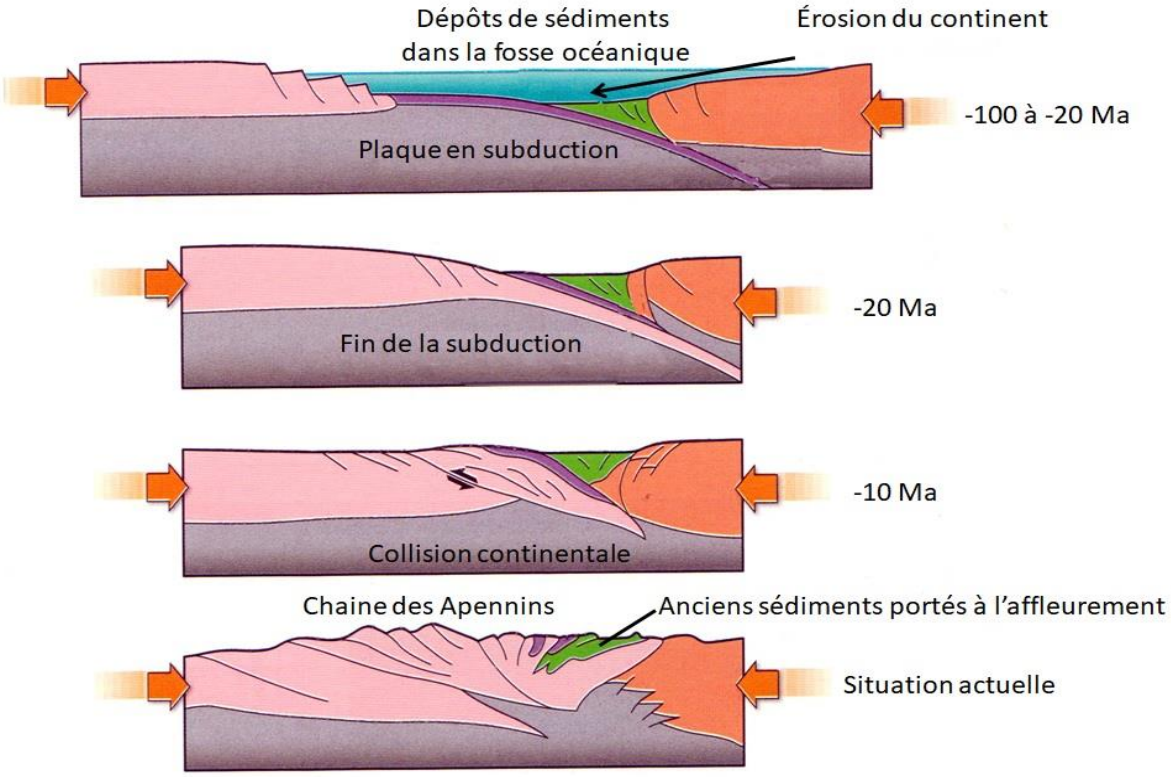
Document 8b - Mise en place des turbidites (modélisation)

Les turbidites désignent des ensembles de roches sédimentaires mises en place à la suite d'un écoulement de sédiments le long d'une pente sous-marine.



L'écoulement débute par la déstabilisation de sédiments meubles issus de l'érosion continentale (argiles, silts, sables, graviers…) accumulés sur le plateau continental **(1)** entrainant un glissement de terrain sous-marin **(2)**. Entrainés par la gravité le long du talus continental, ces sédiments se mélangent à l'eau de mer et glissent jusqu'aux grandes profondeurs (plaine abyssale ou fosse océanique par exemple) (**3)**. Une sédimentation s'ensuit par dépôt des particules solides entrainées (graviers, sables, argiles...) sur la plaine abyssale **(4)**. L'accumulation des coulées successives exerçant une pression croissante, les grains de sable sont compactés et cimentés, et les sédiments meubles se transforment peu à peu en roches sédimentaires **(5)**. Plusieurs coulées se succèdent dans le temps, créant des alternances de strates de granulométrie de plus en plus fine (graviers, sables puis argiles) créant des structures répétitives

Document 9 - Reconstitution paléogéographique de la Toscane à différentes époques



D'après Manuel de SVT Terminale S Belin 2012

Exercice 3 : LES PLUS ANCIENNES TRACES DE VIE SUR TERRE ?

En 1993, John William Schopf, professeur de paléobiologie de l'Université de Californie publie un article retentissant. Il annonce la découverte des plus anciennes traces de vie dans des roches datées de - - 3,46 Ga, du craton de Pilbara, situé à l'ouest de l'Australie. À partir de 2002, de nouvelles découvertes ébranlent la communauté scientifique,remettant en cause l'origine biologique de ces traces. Dans une thèse écrite en 2015, Julien Alléon, chercheur au département de « Earth Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology », revient sur la vive controverse qui alimente la communauté scientifique depuis les années 2000, au sujet des roches du craton de Pilbara (Australie occidentale) **:**

« Identifier l'origine biologique ou non biologique (abiotique) de la matière carbonée des roches anciennes est délicat, notamment à cause des conditions de température et de pression que ces roches ont subi au cours de leur histoire géologique, ayant inévitablement transformé les molécules organiques initiales. »

Les microstructures carbonées observées sont-elles ou non des traces des premières formes de vie ?

À partir de cet exemple, il s'agit ici de montrer que le savoir scientifique résulte d'une longue construction collective, jalonnée d'échanges d'arguments et de controverses parfois vives.

Question 1.
Par l'exploitation et la mise en relation des informations extraites des documents 1 à 7, présenter les arguments pour ou contre l'origine biologique des traces présentes dans les roches du craton de Pilbara.
La réponse prendra la forme d'un tableau à double entrée.

Question 2.

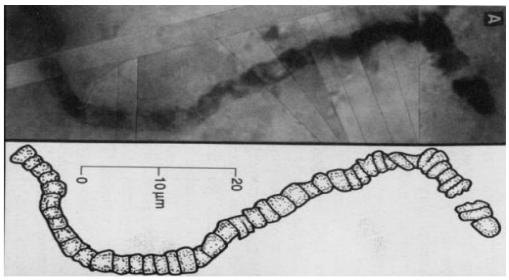
À partir de l'exploitation et de la mise en relation des documents 8 et 9, déterminer les informations supplémentaires qu'apportent ces nouvelles techniques et montrer en quoi ces données permettent d'avancer dans la résolution du problème.

Question 3.
En reprenant l'ensemble des étapes de cette controverse, montrer qu'elle illustre une phrase de Gaston Bachelard, philosophe français : *« L'esprit* [l'avancée] *scientifique se constitue sur un ensemble d'erreurs rectifiées* [(3)]*. »*

[(3)] ***Source : Gaston Bachelard**, La Formation de l'esprit scientifique, 1938, rééd. PUF, 2007.*

PREMIERE PARTIE : LES FAITS DE LA DISCORDE (documents 1 à 7)

Document 1 - Microstructure carbonée retrouvée dans une roche siliceuse du craton de Pilbara et dessin interprétatif



Les filaments semblables à celui-ci sont interprétés comme des fossiles de cyanobactéries par Schopf et Packer dès 1987.

Source : in Apex chert: new evidence of the antiquity of life. Schopf, J. W. (1993) — Science, Vol. 260, pp 640–646

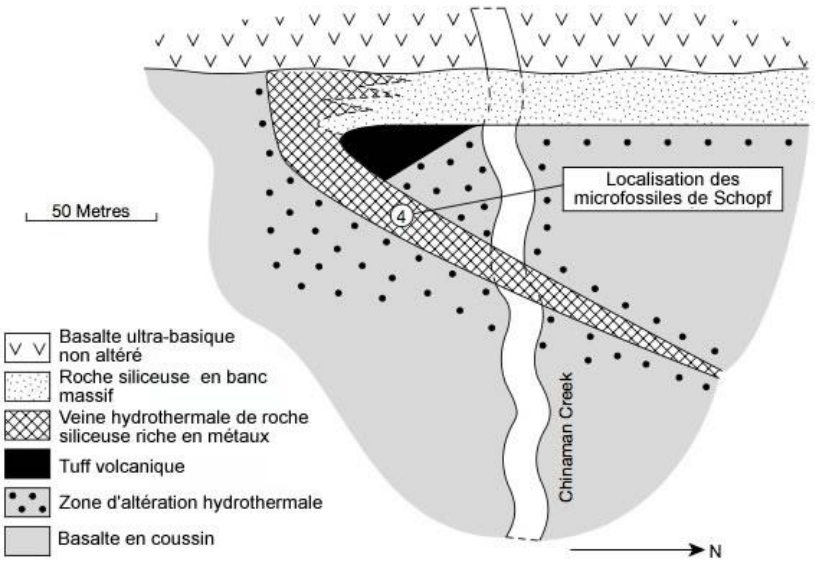
Document 2 - Photo d'une spiruline, cyanobactérie actuelle (être vivant procaryote) observée au microscope optique

Source : photo OM. LDS66

Document 3 - Carte géologique situant la roche étudiée par Schopf.

Le point 4 localise la roche du document 1 (zone à microfossiles de Schopf). Cette zone est une veine hydrothermale de roches siliceuses riches en métaux (Fe, Ni, Pb…) en lien avec l'altération hydrothermale des basaltes environnants.

L'altération hydrothermale est une forme de métamorphisme (transformation des minéraux des roches à l'état solide) dans laquelle les minéraux sont transformés par des circulations de fluides (vapeur d'eau ± riche en CO_2 dissout) à température élevée.



Source : d'après Martin D. Brasier et al. — Questionning the evidence for Earth's oldest fossils — Nature, Vol.416, 03.2002, pp76-81

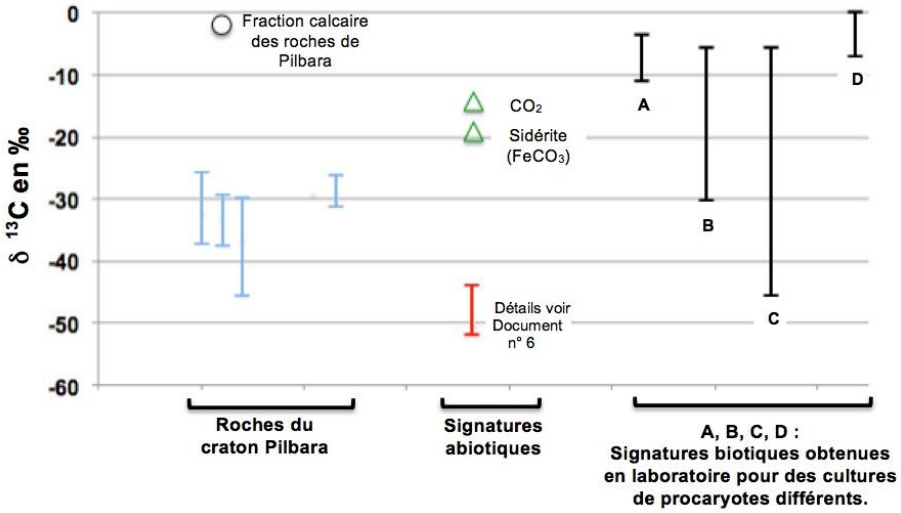
Document 4 - Matière organique et signature isotopique du carbone

Il existe à l'état naturel trois isotopes du carbone se distinguant par leur nombre de neutrons : ^{12}C, ^{13}C, ^{14}C. Les isotopes ^{12}C (98,9%) et ^{13}C (1,1%) sont stables. Ces différents isotopes du carbone ont les mêmes propriétés chimiques mais, du fait de leur différence de masse atomique, la présence de l'un ou de l'autre dans un substrat influe sur la vitesse des réactions chimiques (effet isotopique cinétique). En particulier, les réactions biologiques qu'opèrent les êtres vivants privilégient l'isotope léger. De ce

fait, les molécules organiques synthétisées par les êtres vivants sont nettement enrichies en ^{12}C et un enrichissement dans une roche témoigne de l'origine biologique de la matière carbonée contenue.

Le $\delta^{13}C$ traduit l'abondance relative des deux isotopes ^{12}C et ^{13}C dans un échantillon. On parle de signature isotopique. Ainsi un $\delta^{13}C$ négatif d'un échantillon traduit un appauvrissement en ^{13}C. Les signatures isotopiques sont qualifiées de signatures abiotiques dans le cas de synthèse hydrothermale ou de signatures biotiques dans le cas de synthèse par un être vivant.

Document 5 - Comparaison de signatures isotopiques du $\delta^{13}C$

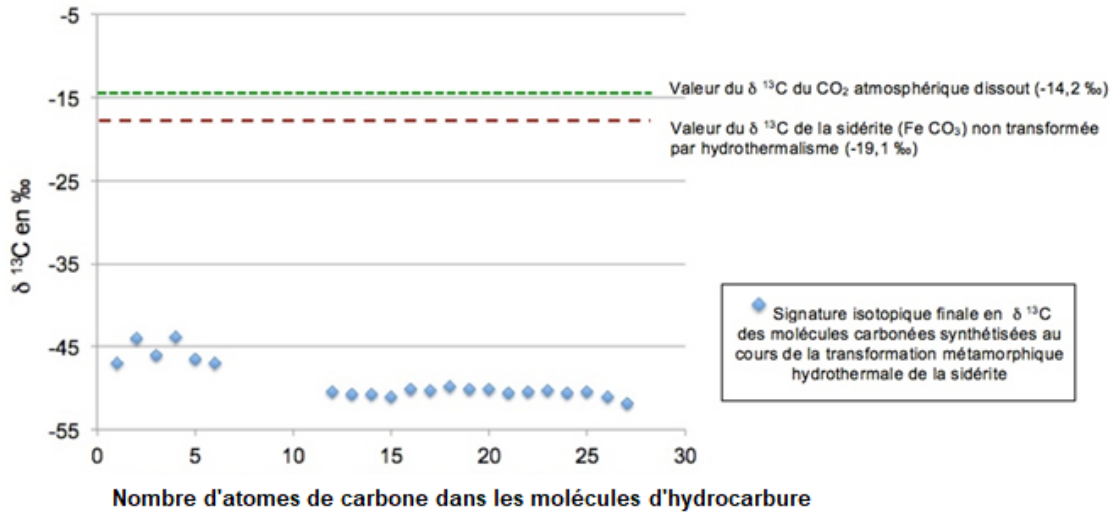


Des mesures de $\delta^{13}C$ ont été réalisées sur des molécules carbonées abiotiques et synthétisées sous conditions hydrothermales (barre rouge). Le document permet de les comparer avec celles de matières carbonées identifiées dans des roches de -3,46 Ga du craton Pilbara (barres bleues) et celles produites par des cultures de procaryotes actuels (barres noires).

Source : d'après T.M. McCollom, J.S. Seewald, — Earth and Planetary Science Letters 243 (2006) pp.74–84, fig.6

Document 6 - Signatures isotopiques en $\delta^{13}C$ de molécules carbonées synthétisées sous conditions hydrothermales (détail de la barre rouge du document 6)

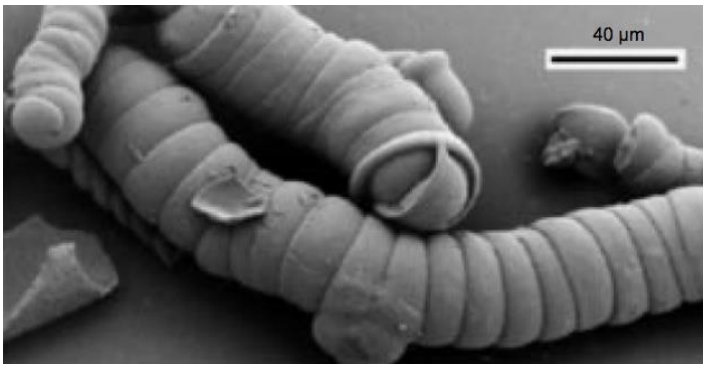
Selon les travaux de Thomas Mc Collom (2006), des composés organiques à longue chaine carbonée peuvent être obtenus sous des températures de 300 °C par réaction chimique abiotique entre la vapeur d'eau et des roches carbonatées chaude telles que la sidérite. L'hydrothermalisme conduit également à un dépôt de silice.



Document 7 – photographie de microfilaments abiotiques silico-carbonatés

Ces microstructures ont été obtenues en 2002 en laboratoire, dans des conditions de type hydrothermal.

Source : J. M. García-Ruiz, et al. , Self-assembled silica-carbonate structures and detection of ancient microfossils. — Science, Vol. 302, Nov.2003



DEUXIEME PARTIE : PEUT-ON LEVER L'AMBIGUÏTE ? (documents 8 et 9)

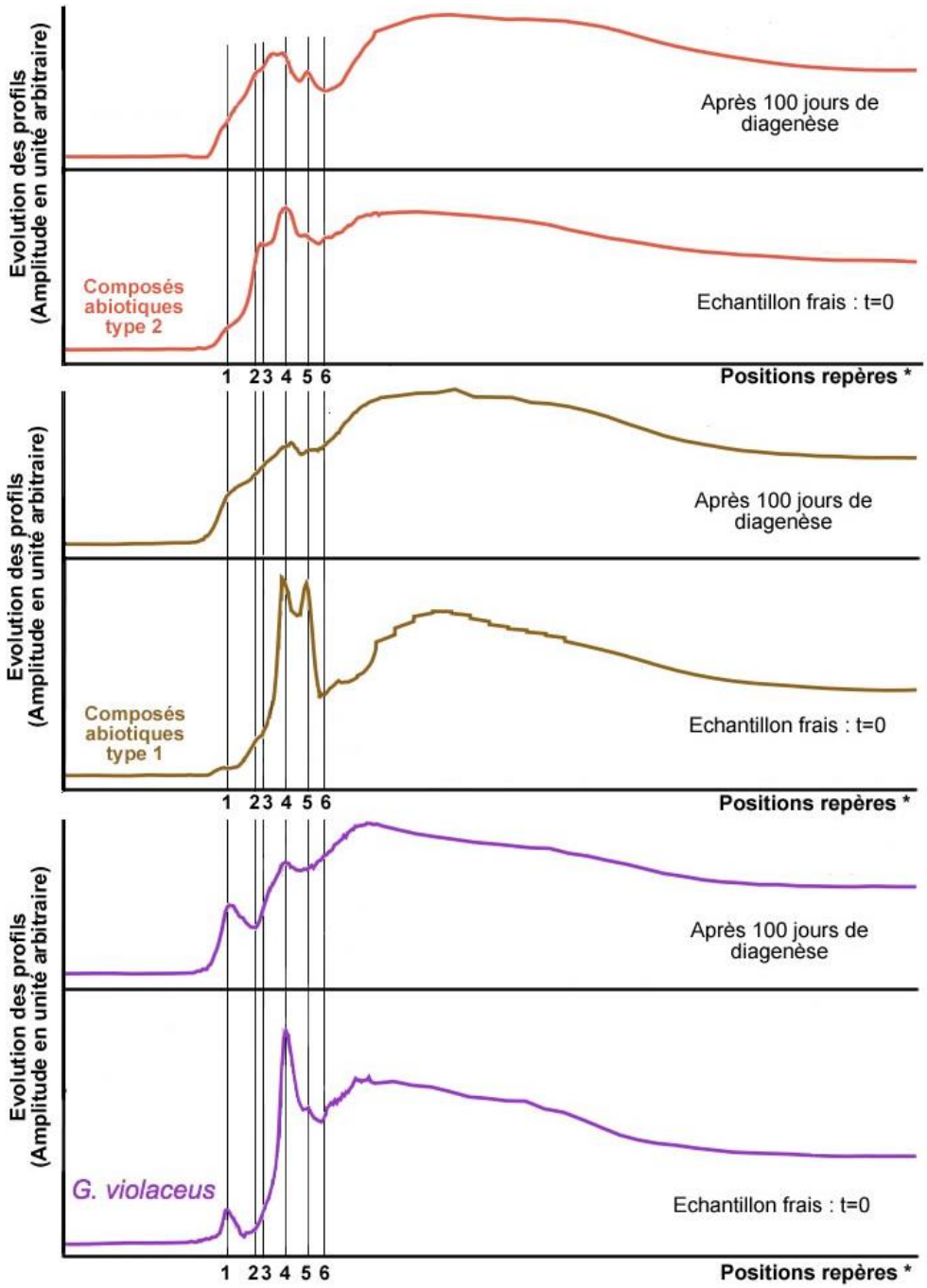
Depuis les années 2010, de nouvelles techniques d'analyse et de nouvelles approches expérimentales dont la diagénèse(2) expérimentale ont été développées.

(2) Diagénèse : désigne l'ensemble des processus physico-chimiques et biochimiques par lesquels les sédiments sont transformés en roches sédimentaires. Ces transformations ont généralement lieu à faible profondeur, donc dans des conditions de pression et température peu élevées.

Document 8 - Les approches complémentaires de l'analyse spectroscopique de la matière carbonée et des expériences de diagenèse simulée en laboratoire.

Document 8a - La diagenèse expérimentale permet de placer des échantillons dans des conditions de pression et de température identiques au contexte de la diagenèse naturelle. Par spectroscopie, on établit la signature moléculaire de la matière carbonée. Il est ainsi possible de comparer des matières carbonées d'origine biotique et abiotique. Des composés organiques biologiques (une cyanobactérie actuelle, *Gloeobacter violaceus*) et des composés carbonés de deux types (type 1 et type 2) ont été soumis à de telles expériences.

Document 8b - Profils spectroscopiques des échantillons soumis à expérimentation



*** Sur tous les profils, les chiffres 1, 2, 3, 4, 5, 6, sont des repères pour l'anamyse des spectres. Ils correspondent à des niveaux d'energie d'absorption spectroscopique.**

Remarque : les mesures spectroscopiques réalisées à des temps variés de diagenèse expérimentale, montrent une évolution progressive des profils mais les signatures moléculaires restent spécifiques.

Source : d'après Julien Alléon, Impact des processus de fossilisation sur le devenir des signatures moléculaires de micro-organismes — Thèse de doctorat, 2015, Fig. 4.2.7, p 171

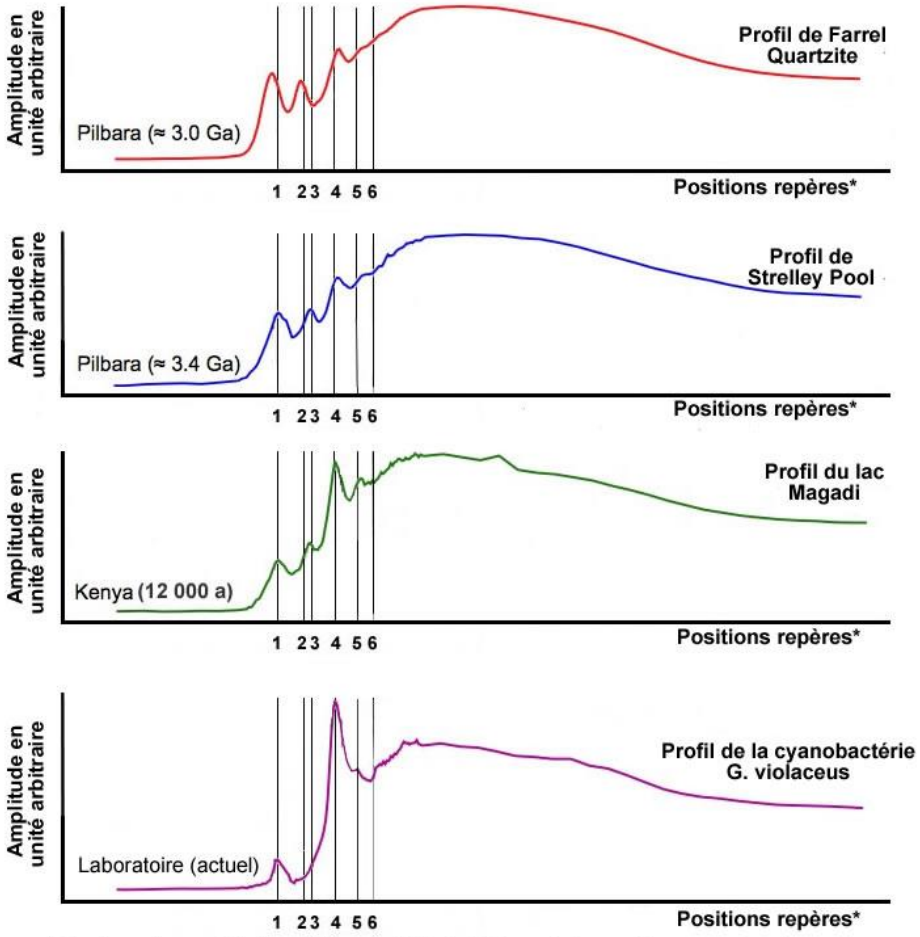
Document 9 - Profils spectroscopiques de la matière carbonée des échantillons de roches siliceuses et d'une culture fraîche de cyanobactéries actuelles *Gloeobacter violaceus.*

Deux échantillons de roches siliceuses du craton Pilbara (Strelley Pool et Farrel Quartzite), de 3 Ga ou plus, ont été soumis à cette technique.

Strelley Pool (-3,4 Ga) est distant d'une trentaine de kilomètres du gisement dont a été extraite la microstructure carbonée du document 1. La mise en place de cette roche, siliceuse, s'est faite dans un environnement influencé par des circulations hydrothermales. On y trouve la présence de veines de quartz, riches en matière carbonée. L'origine de cette matière carbonée est discutée par les différentes équipes qui travaillent sur le sujet.

Deux autres échantillons servent de référence :

- une roche siliceuse du lac Magadi au Kenya âgée de 12 000 ans, dont on est certain que les structures carbonées proviennent de l'activité d'êtres vivants, dont des cyanobactéries ;



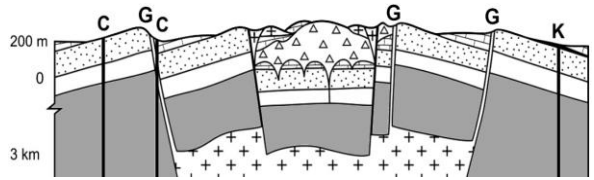
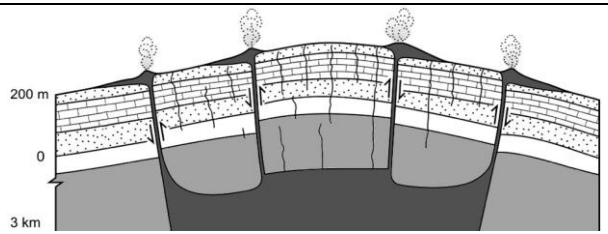
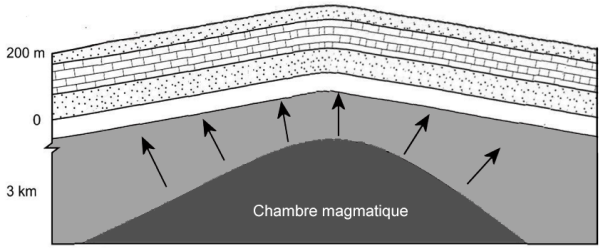
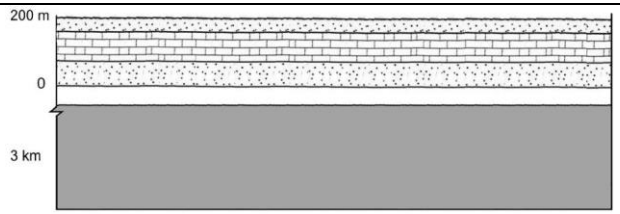
*** Sur tous les profils les chiffres 1, 2, 3, 4, 5, 6, sont des repères pour l'analyse des spectres. Ils correspondent à des niveaux d'énergie d'absorption spectroscopique.**

- une culture fraîche de cyanobactéries actuelles.

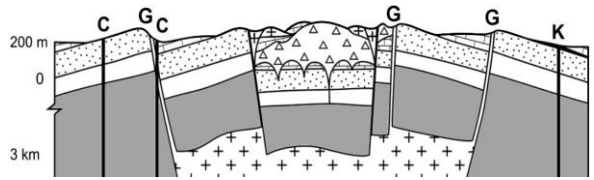
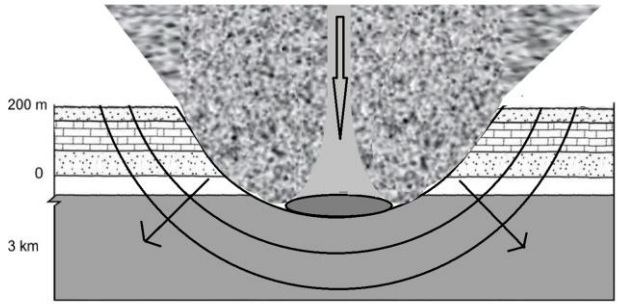
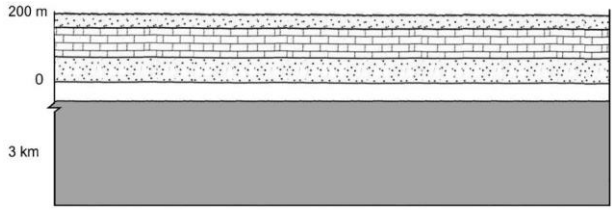
Pour les scientifiques le décalage de certains pics des roches de Pilbara, leur étalement par rapport aux positions repères, et leur atténuation, peuvent être liés aux transformations thermiques (jusqu'à 350 °C) subies par la roche au cours de sa formation.

Source : d'après Julien Alléon, Impact des processus de fossilisation sur le devenir des signatures moléculaires de microorganismes — Thèse de doctorat, 2015, Fig. 3.2.9, p

Document de l'exercice 1 à compléter et à rendre avec la copie <u>si l'hypothèse d'une caldeira est retenue</u>

Schémas du plus ancien (en bas) au plus récent (en haut) à légender et titrer (les mouvements éventuels seront précisés par des flèches)	Argumentation de la chronologie en exploitant les données issues du terrain (document 2) à l'aide des principes de la chronologie relative	Frise chronologique des principaux évènements à établir en indiquant la succession des évènements
		**Actuel**
		
		
	Les différentes roches sédimentaires <u>recouvrent</u> le socle daté d'avant - 700 Ma.	**700 Ma** Formation de roches sédimentaires sur le socle

Document de l'exercice 1 à compléter et à rendre avec la copie si l'hypothèse du cratère d'impact est retenue

Schémas du plus ancien (en bas) au plus récent (en haut) à légender et titrer (les mouvements éventuels seront précisés par des flèches)	Argumentation de la chronologie en exploitant les données issues du terrain (document 2) à l'aide des principes de la chronologie relative	Frise chronologique des principaux évènements à établir en indiquant la succession des évènements
		
		
	Les différentes roches sédimentaires recouvrent le socle daté d'avant - 700 Ma.	

Olympiades de géosciences 2019

Guadeloupe - Guyane – Martinique

AEFE

Épreuve écrite du 21 mars 2019

Durée de l'épreuve : 4 h

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 n'est pas autorisée.

Ce sujet comporte 17 pages

Une vie eucaryote pluricellulaire il y a 2,1 milliards d'années

Le gisement de Franceville au Gabon est exceptionnel :

- l'abondance des fossiles pyritisés,
- leur préservation
- le bassin sédimentaire de Franceville peu perturbé par l'activité tectonique.

C'est le bassin sédimentaire de cet âge le mieux conservé au monde. Les fossiles se trouvent dans des couches sédimentaires d'argiles noires riches en matière organique. Les géologues en ont déduit les caractéristiques environnementales de la région à cette époque : un milieu marin peu profond et riche en dioxygène, conditions qui étaient favorables au développement de formes de vie complexes et organisées.

Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1 Gyr ago

Abderrazak El Albani, Stefan Bengtson, Donald E. Canfield, Andrey Bekker, Roberto Macchiarelli, Arnaud Mazurier, Emma U. Hammarlund, Philippe Boulvais, Jean-Jacques Dupuy, Claude Fontaine, Franz T. Fürsich, François Gauthier-Lafaye, Philippe Janvier, Emmanuelle Javaux, Frantz Ossa Ossa, Anne-Catherine Pierson-Wickmann, Armelle Riboulleau, Paul Sardini, Daniel Vachard, Martin Whitehouse & Alain Meunier

Affiliations | Contributions | Corresponding author

Nature **466**, 100–104 (01 July 2010) | doi:10.1038/nature09166

De grands organismes coloniaux avec une croissance coordonnée dans des environnements oxygénés il y a 2,1 Ga (= $2{,}1.10^9$ années)

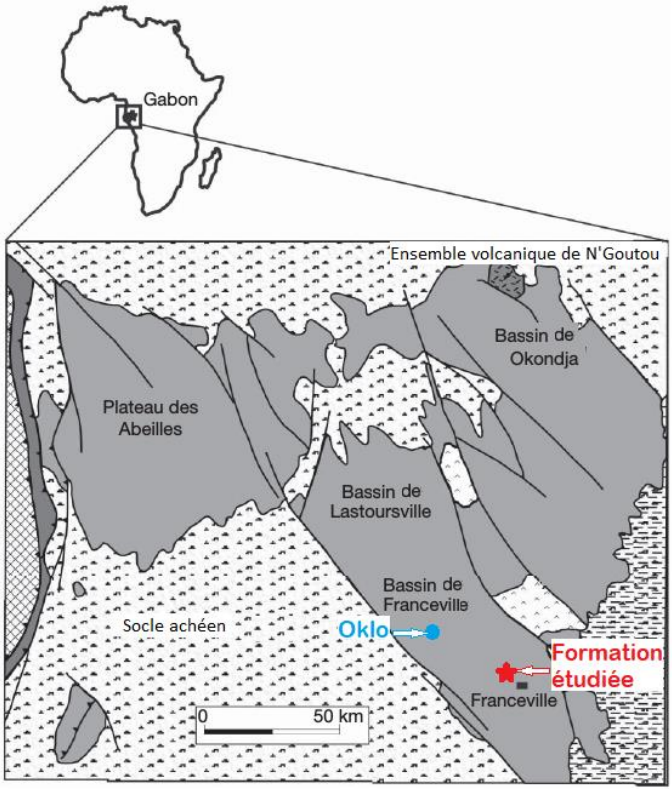
La preuve de la vie d'organismes pluri-centimétriques au Paléoprotérozoïque (-2,5 à -1,6 Ga) est controversée. À l'exception de *Grypania spiralis*, fossile en forme de spirale vieux de 2 Ga et qui pourrait avoir été un eucaryote, les preuves […] d'une biodiversification de macroorganismes apparaissent seulement durant le Mésoprotérozoïque (-1,6 à -1,0 Ga). Nous rapportons ici la découverte de structures d'échelle centimétrique dans des schistes noirs âgés de 2,1 Ga et appartenant à la formation paléoprotérozoïque de Francevillien B située au Gabon. Nous interprétons ces structures comme des populations distinctes d'organismes coloniaux hautement organisés. […]. Les analyses géochimiques suggèrent que les sédiments se sont déposés dans un milieu aquatique oxygéné. Les données isotopiques [notamment] du carbone [...] indiquent que les structures étaient des objets biogéniques distincts fossilisés […] au début de la formation de la roche. Les modes de croissance déduits de la morphologie des fossiles suggèrent que ces organismes possédaient une signalisation intercellulaire et des réponses coordonnées, comme cela est communément associé aux organisations multicellulaires. Les fossiles du Gabon, apparus après l'augmentation de la concentration de dioxygène atmosphérique il y a 2,45 à 2,32 Ga, peuvent être considérés comme des représentants anciens de la vie pluricellulaire, qui s'est développée très rapidement 1,5 milliards d'années plus tard, durant l'explosion cambrienne [-540 à - 520 Ma].

Construit à partir de la publication originale (traduction) de A. El Albani et al. Nature 466, 100-104, 2010

À partir des documents fournis, retrouvez les arguments en faveur de l'idée principale soutenue par les auteurs de l'article : « Des structures découvertes dans le bassin de Franceville attestent que des organismes eucaryotes pluricellulaires ont vécu dans un environnement oxygéné il y a 2,1 Ga. »

Document 1- Données lithostratigraphiques

1a - Carte géologique du bassin francevillien de la série paléoprotérozoïque francevillienne.



Sédiments phanérozoïques

Ensemble volcanique de N'Goutou

Série francevillienne

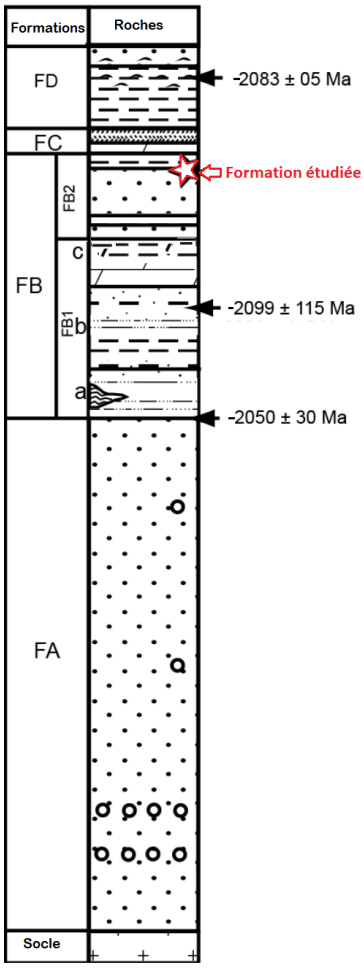
Gneiss de Okanja

Gneiss de Ogoue

Gneiss et granite (Archéen)

1b - Colonne lithostratigraphique de la série francevillienne.

Elle se compose de quatre formations sédimentaires FA à FD (non métamorphisées) qui se succèdent sur 2 000 m d'épaisseur. La plupart des matériaux qui les constituent sont des particules plus ou moins fines (argiles, pelites, sables) et plus ou moins consolidées (grès / sables). Les datations ont été réalisées par diverses techniques de radiochronologie.



Grès à grains fins

Sables pyroclastiques

Grès grossier

Quartz microcristallin

Dolomie

Carbonate manganésifère

Argiles noires

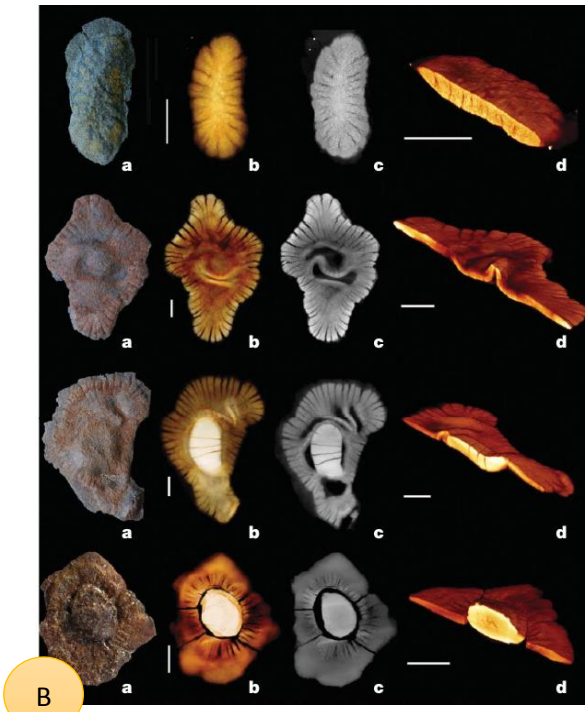
Argiles noires et pelites

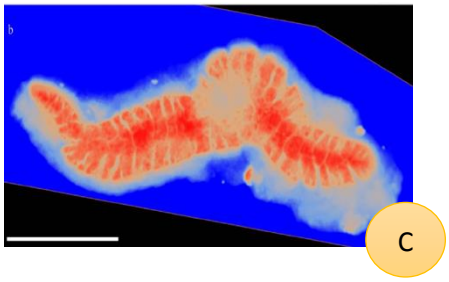
Pelites massives

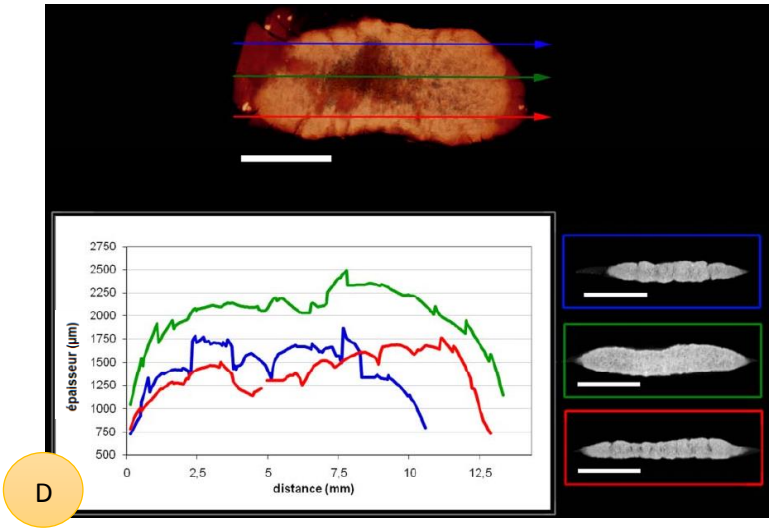
Socle archéen

A . El Albani et al., Nature, 2010

Document 2a - Données morphologiques







A - Surface de lit de schiste noir portant des fossiles pluri-centimétriques du niveau FB2, photographié *in situ*.
B - Reconstructions par micro-tomographie X (scanner) et sections virtuelles de quatre spécimens. *Barres d'échelles 5 mm*
C - Spécimen détaché avec sa contre-empreinte laissée dans les schistes noirs et reconstruction 2D montrant le tissu radial périphérique (volume rendu virtuellement en semi transparence colorée). *Barres d'échelle 1cm.*
D – Reconstitution par micro-tomographie X de trois sections parallèles à l'axe principal d'un macrofossile et variation de leur épaisseur (différentes couleurs). *Barres d'échelle 5 mm*.

Document 2b – Données biochimiques et tailles moyennes des êtres vivants actuels

Les organismes pluricellulaires atteignent et dépassent souvent des tailles centimétriques.

Les bactéries, dont la taille est de l'ordre du micromètre, peuvent constituer des colonies organisées qui peuvent avoir des formes propres (voir document 5)

Document 3 - Données géochimiques, les isotopes du carbone

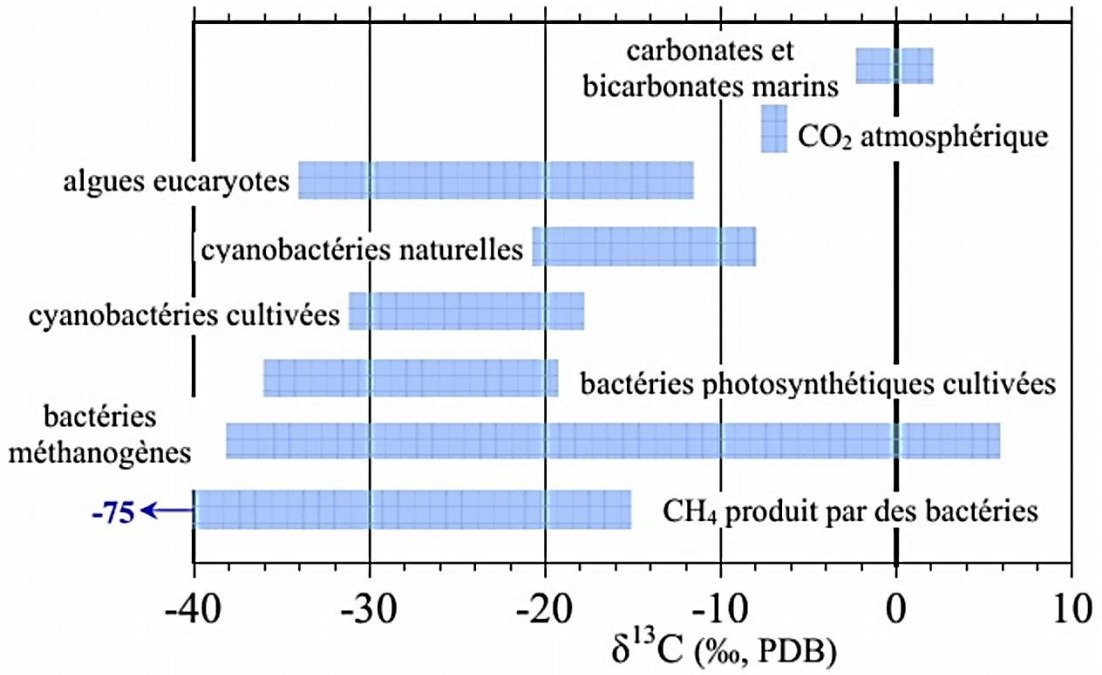
Document 3a - Données de référence sur le fractionnement isotopique du carbone

Il existe à l'état naturel trois isotopes du carbone se distinguant par leur nombre de neutrons : ^{12}C, ^{13}C, ^{14}C. Les isotopes ^{12}C (98,9%) et ^{13}C (1,1%) sont stables. Ces différents isotopes du carbone ont les mêmes propriétés chimiques mais, du fait de leur différence de masse atomique, la présence de l'un ou de l'autre dans un substrat influe sur la vitesse des réactions chimiques (effet isotopique cinétique). En particulier, au cours de la photosynthèse, les végétaux utilisent préférentiellement l'isotope ^{12}C. Il en résulte qu'ils sont relativement appauvris en ^{13}C et enrichis en ^{12}C. Cela se traduit par une diminution du rapport $^{13}C/^{12}C$. On calcule le « delta ^{13}C » noté $\delta^{13}C$ avec la formule ci-dessous :

$$\delta^{13}C = \frac{\left(\frac{^{13}C}{^{12}C}\right)_{Echantillon} - \left(\frac{^{13}C}{^{12}C}\right)_{Référence}}{\left(\frac{^{13}C}{^{12}C}\right)_{Référence}}$$

Un indice négatif indique une utilisation préférentielle du ^{12}C par rapport au ^{13}C. Une telle variation est interprétée comme un indice de processus biologique.

Document 3b - Valeurs des $\delta^{13}C$ de différents échantillons



Document 3c – Comparaison du $\delta^{13}C$ de 5 fossiles de la formation FB2 avec les sédiments qui les contiennent

Source : Chidlowski et al. 1983 in thèse A. SKRZYPCZAK., 2005

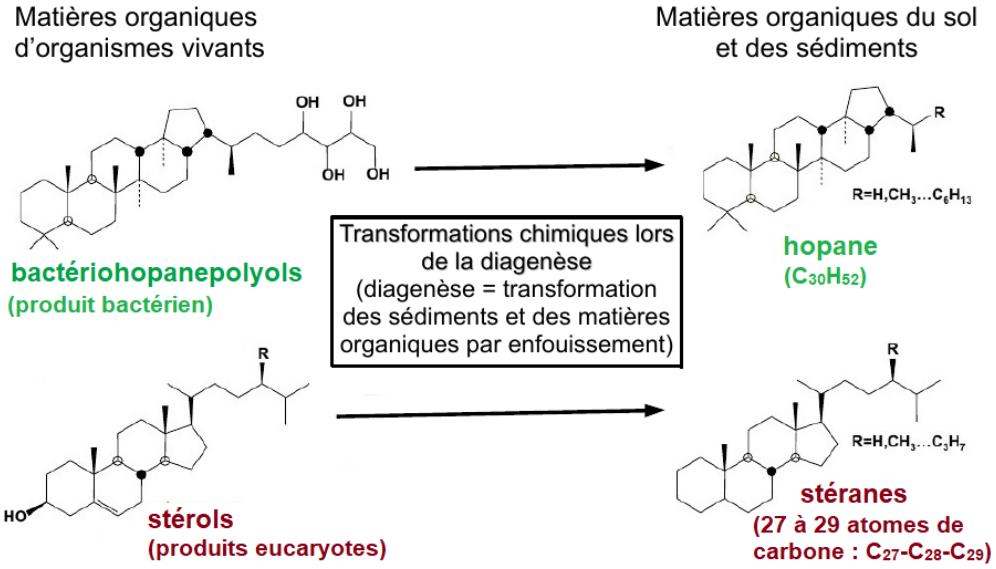
échantillon	$\delta^{13}C$ (‰) sédiment	$\delta^{13}C$ (‰) fossile	diff. (‰)
s1	-27,83	-33,32	5,49
s2	-28,97	-34,65	5,68
s3	-32,72	-33,35	0,63
s4	-11,74	-27,16	15,42
s5	-22,44	-30,77	8,33
Incertitude analytique inférieure à 0,1‰			

Document 4 - Données géochimiques, les stéranes

Données de référence sur les "fossiles moléculaires"

La matière organique des sols et des sédiments est issue de la transformation des tissus biologiques après la mort des organismes vivants. Elle est constituée de substances provenant d'organismes comme les plantes, les algues et les bactéries.

Adapté de: G. Love et al., Nature, 2009.

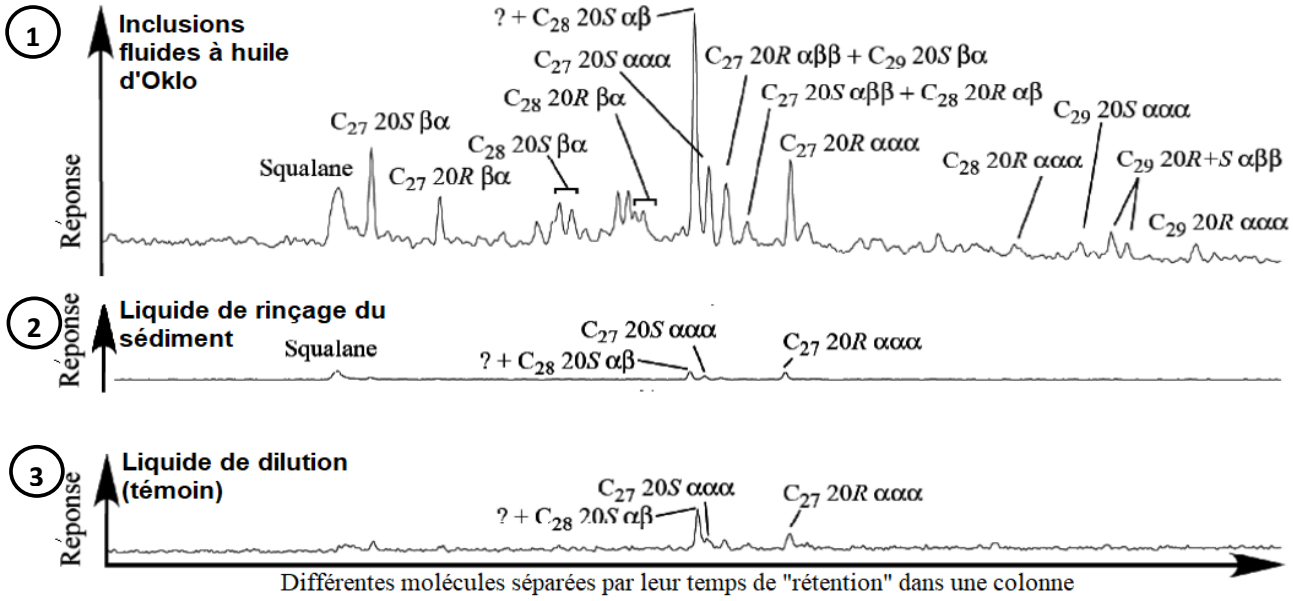


L'analyse des molécules organiques fossiles se fait par chromatographie en phase gazeuse (qui permet de séparer les composants) couplée à la spectrométrie de masse (qui permet d'identifier chacun d'eux). La sensibilité de cette technique est telle qu'elle dose des concentrations très faibles, de l'ordre de quelques picogrammes (10^{-12} g) par millilitre. En outre, elle nécessite l'utilisation d'un liquide de rinçage du sédiment et d'un liquide de dilution.

Analyses réalisées sur des sédiments de la formation FA d'Oklo

(Cf. carte ci-contre et document 1 pour la localisation)

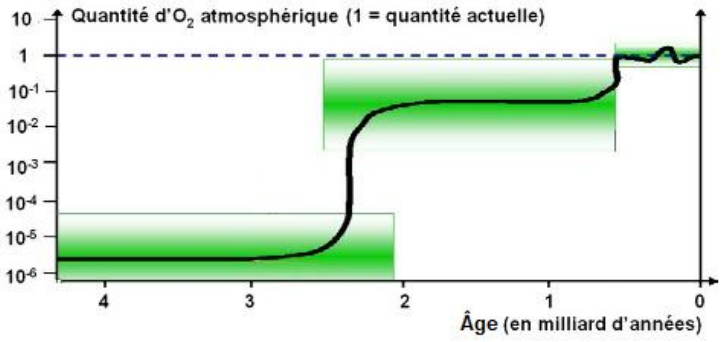
Extrait d'un chromatogramme des inclusions fluides à huile d'Oklo **(1)** ainsi que du liquide de rinçage **(2)** et du liquide de dilution **(3)** utilisés, ces deux derniers testant une éventuelle contamination des solvants. Les hauteurs des pics sont proportionnelles aux concentrations. Le nombre en indice du carbone (Cn) indique le nombre de C de la molécule.



Source : A. Dutkiewicz et al., Chemical Geology, 2007

Document 5 - Données géochimiques, évolution de la teneur atmosphérique en dioxygène

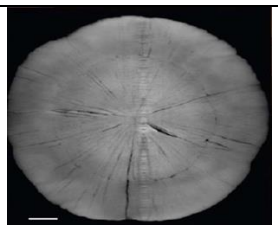
L'évolution de la teneur de l'atmosphère en dioxygène est sujette à débats. La courbe présentée ici synthétise les données et les incertitudes les plus récentes (2008). La valeur 1 correspond à la quantité actuelle d'O_2 atmosphérique, soit 21 % de l'atmosphère d'aujourd'hui, c'est-à-dire 213 hPa. Les rectangles verts indiquent le domaine d'incertitude où pourrait se trouver la valeur réelle.



http://planet-terre.ens-lyon.fr

Document 6 - Comparaison de structures d'origine biologiques et non biologiques

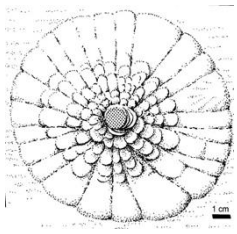
A - « Pyrite soleil » formée de cristaux en croissance radiale.
Barre d'échelle, 1 cm.
A . El Albani et al., Nature,2010



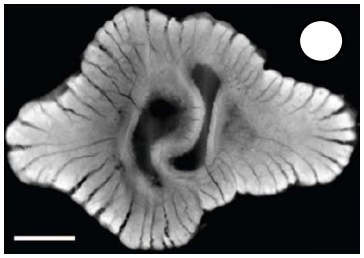
B - Les biofilms (tapis) bactériens sont des amas structurés de cellules bactériennes enrobés dans une matrice et attachés à une surface. Ils se forment généralement dans l'eau ou en milieu aqueux. Exemples de biofilms : les mères de vinaigre, les stromatolithes, ...

Photographie d'un morceau de tapis bactérien fabriqué par des cyanobactéries. Parc de Yellowstone. *Barre d'échelle du dessin : 1 cm*

C. Nedin, http://ediacaran.blogspot.nl



D - Coupes virtuelles axiales montrant l'organisation structurale interne d'un spécimen de la formation FB2. *Barre d'échelle, 1 cm.*



Des baleines échouées dans une grotte.

Le Chili, qui borde l'océan Pacifique jusqu'à l'extrémité du continent sud américain, est connu pour ses importants séismes. La Patagonie chilienne présente les plus beaux glaciers andins, à l'origine d'une côte très découpée d'iles et de fjords dans cette région proche de l'Antarctique. Parmi ces archipels sauvages, Madre de Dios est un ensemble d'iles calcaires explorées depuis plus de 10 ans par les spéléologues de Centre-Terre. La découverte de curieux cimetières de baleines dans une gigantesque grotte, perchée jusqu'à plus de 10 mètres au dessus du niveau de la mer a intrigué les scientifiques de l'équipe, qui lui ont donné le nom de grotte de la Baleine.

On se propose ici de comprendre l'origine de ces cimetières.

Vous devez rédiger un article scientifique expliquant « le mystère des cimetières de baleines en Patagonie ». Votre article devra faire référence aux documents scientifiques et expliquer plus particulièrement les différents niveaux de cimetières et la conservation plus ou moins importante des liens anatomiques entre les différents os.

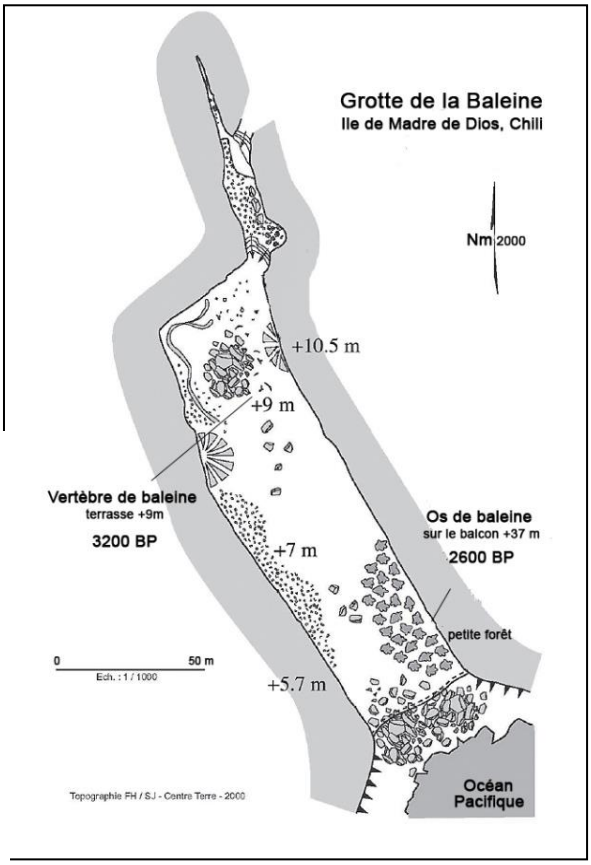
Document 1 - Localisation de la grotte de la Baleine sur la côte sud pacifique du Chili

(d'après "L'ile aux Glaciers de Marbre", Centre Terre, 2012)

Document 2 - La plus grande grotte de Madre de Dios

Document 2a - Photos de l'entrée de la grotte de la Baleine (vue de l'intérieur à gauche et depuis le rivage pacifique à droite). Les personnages (cercle rouge) donnent l'échelle.

Document 2b - Vue en carte de la grotte : position des terrasses et des échantillons d'os datés ***(d'après Maire et al., 2009)***

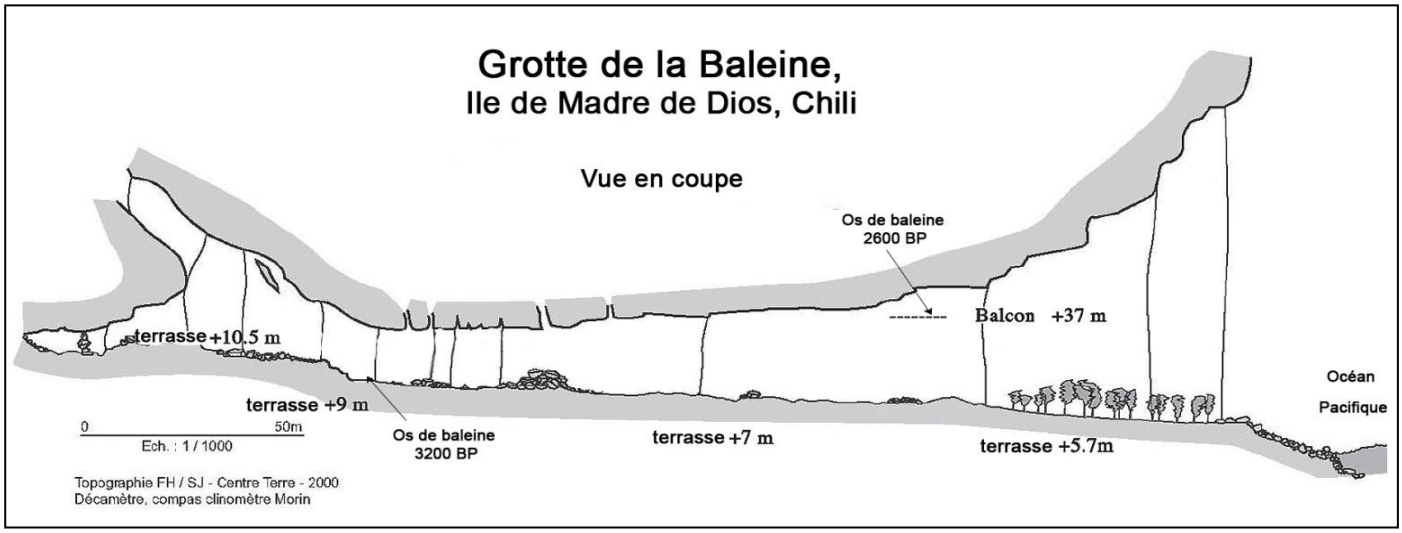


Avec une ouverture de 50 m de large et 70 m de haut, la grotte de la Baleine est la plus grande sur Madre de Dios. La grotte a enregistré quatre niveaux de terrasses marines (dépôts de sédiments littoraux marins) entre 5 et 10 m d'altitude. Le niveau le plus éloigné de l'entrée est celui qui présente une importante accumulation d'ossements. Il a fait l'objet d'une étude détaillée.

L'étude des galets des terrasses marines prouve que c'est bien l'océan qui a pénétré dans la grotte. Pourtant, compte tenu de l'orientation actuelle de l'entrée, on constate que même les fortes vagues de tempête pendant les grandes marées d'équinoxe ne peuvent aujourd'hui atteindre et balayer l'ensemble de la grotte.

(Extraits du rapport d'expédition Ultima Patagonia 2008 - Centre Terre)

Document 2c - Vue en coupe de la grotte : position et altitude des différents dépôts d'ossements datés. L'altitude est donnée par rapport à la ligne de rivage actuelle *(d'après Maire et al., 2009).*



Document 3 - La grotte de la Baleine : un cimetière d'animaux marins...

De nombreux ossements ont été répertoriés et permettent de dénombrer 6 crânes de baleines ainsi que d'autres mammifères marins plus petits (dauphins, otaries, loutres...) et des ossements d'oiseaux.
La plupart des ossements ne sont plus en connexion anatomique et sont dispersés sur les différentes terrasses entre 5 et 12 m. L'essentiel d'entre eux se trouvent vers le fond de la grotte.
Les plus surprenants sont les ossements de baleine situés sur un balcon rocheux à plus de 37 m de hauteur en paroi (voir document 2) : quelques vertèbres, un morceau de mâchoire et des phalanges en connexion anatomique ! Certains de ces ossements ont été datés par la technique radiométrique du ^{14}C (voir tableau ci-dessous).

Document 3a - Vertèbre et côte de baleine bleue sur la terrasse +9 m, la vertèbre fait 1,45 m d'envergure *(Photos Centre Terre)*

Document 3b - Datations effectuées sur les ossements trouvés dans la grotte (voir localisation sur doc 2b-2c). L'âge obtenu est exprimé en BP (Before Present), ce qui signifie nombre d'années avant 1950.
(d'après Maire et al., 2009)

Prélèvement (d'après Maire et al., 2009)	Type d'ossement	Altitude (en mètres, au dessus du niveau de l'océan)	Date ^{14}C
Echantillon sur terrasse	Vertèbre de baleine	+ 9 m	-3200 +/- 100 BP
Echantillon sur balcon	Métacarpe de baleine	+ 37m	-2600 +/- 60 BP

Document 4 - Des baleines sur les côtes de Patagonie chilienne

Photo 4a - Échouage en masse de baleines boréales dans le golfe de Penas (Chili) *(Photo AFP-Le Monde)*

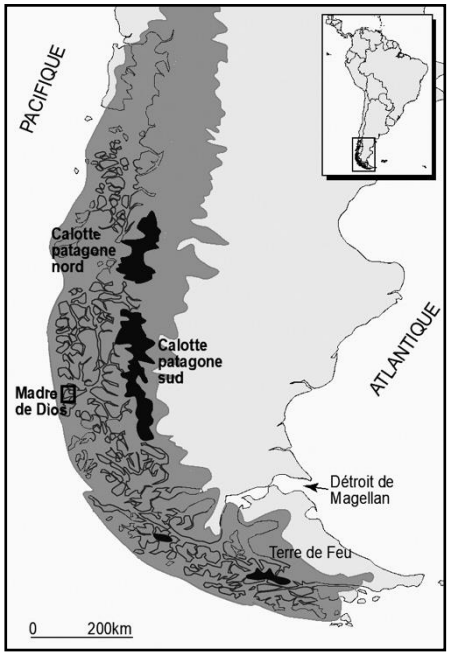
Photo 4b - Cadavre de baleine en décomposition sur le rivage de Madre de Dios en 2017 *(Photo Centre-Terre).*

Les baleines bleues figurent parmi les plus gros animaux ayant jamais existé sur Terre. Elles peuvent atteindre plus de 30 m d'envergure et peser jusqu'à 140 tonnes !

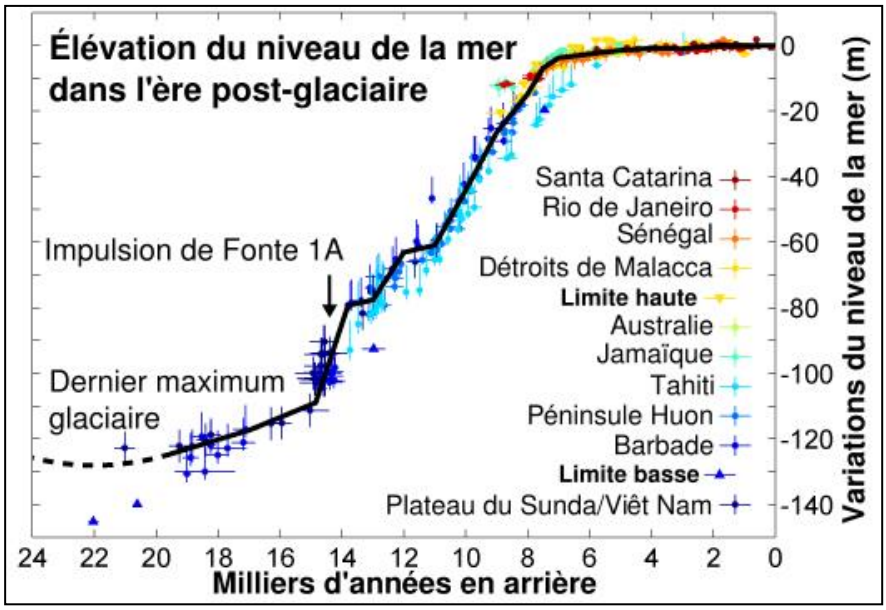
En 2015, plus de 300 baleines boréales s'échouent dans le Golfe de Penas au Nord de Madre de Dios (photo 4.a). En 2017, un cadavre de plusieurs mois est découvert sur les rivages de Madre de Dios (photo 4b). De tels échouages ne sont pas si rares dans le monde. Si les activités humaines peuvent être parfois incriminées, la plupart de ces phénomènes semblent d'origine naturelle, liés à des intoxications par des algues, des morts pathologiques des individus ou à des échouages en eaux peu profondes. Certains individus malades ou affaiblis peuvent rechercher des eaux moins profondes, leur permettant de remonter plus aisément à la surface pour respirer. Mais une fois leur masse ayant reposé sur une surface dure, les parois de leur cage thoracique se trouvent compressées et leurs organes internes abîmés. Leur survie en eaux peu profonde est alors quasiment nulle. Leur cadavre porté par l'eau peut dériver jusqu'à s'échouer sur la ligne de rivage sous l'action des vagues et des courants.

(d'après https://theconversation.com/comment-expliquer-les-echouages-massifs-de-cetaces-75178 et Hucke-Gaete, R., Osman, L.P., Moreno, C.A., Findlay, K.P. & Ljungblad, D.K., « Discovery of a Blue Whale Feeding and Nursing Ground in Southern Chile », Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, vol. 271 (suppl.), 2004, s170-s173.)

Document 5 - Glaciers et rivages de Patagonie



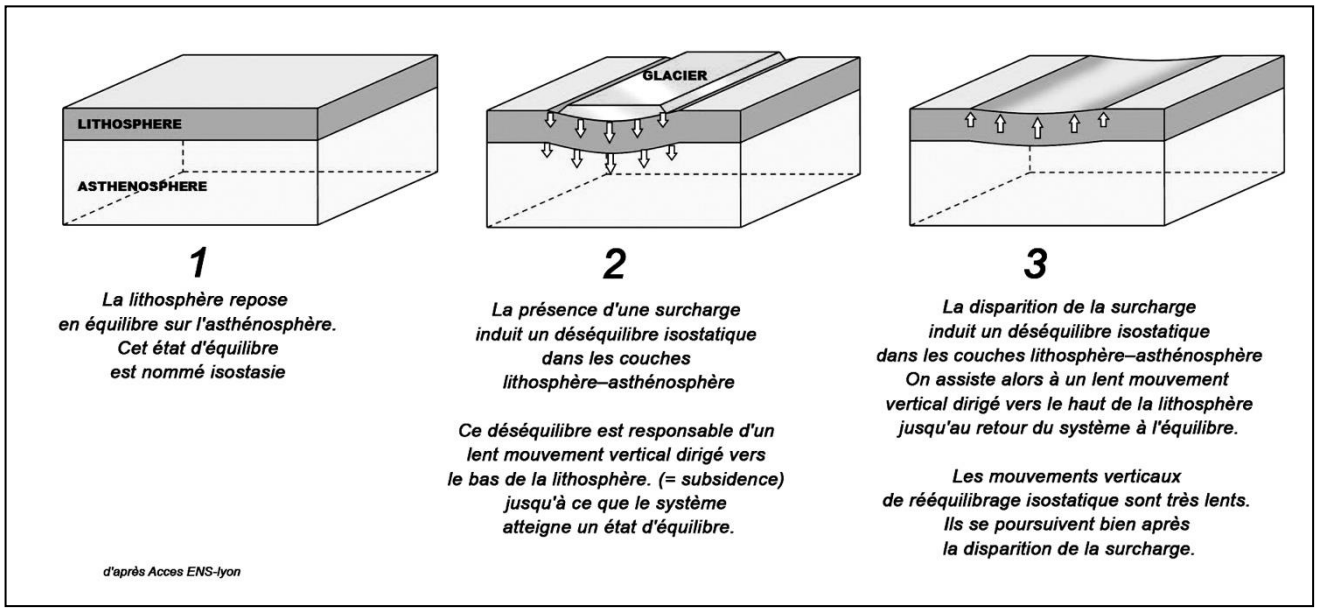
5a - Extension des glaciers de Patagonie : en noir, l'extension actuelle ; en gris foncé, l'extension au dernier maximum glaciaire il y à 18 000 ans. *(d'après Sudgen et al., 2005)*



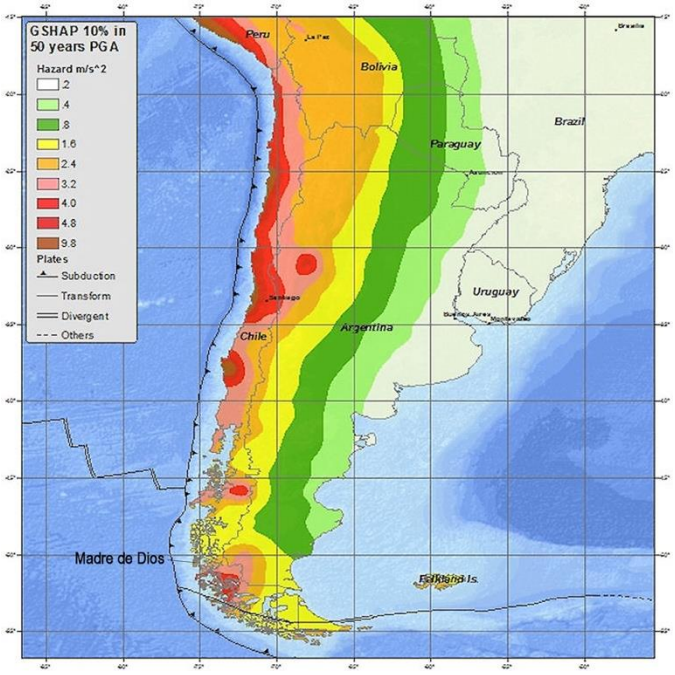
5b - Courbe de variation absolue du niveau des océans depuis la fin du dernier épisode glaciaire *(d'après les données de Fleming et al., 1998, Fleming, 2000 et Milne et al., 2005, établies à partir de différentes localités du monde et mises en forme par Robert A. Rohde (Global Warming Art project)).*

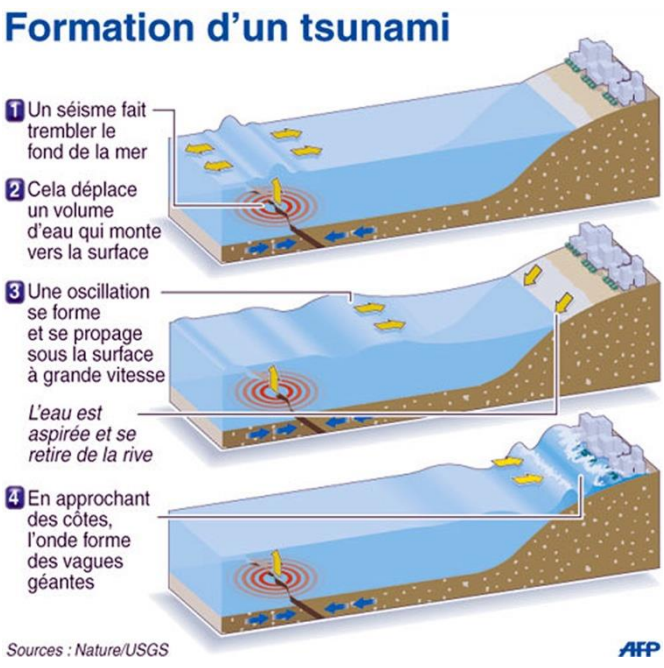
5c - Réponse isostatique du couple asthénosphère-lithosphère à une surcharge de glace

(d'après Acces ENS-Lyon)



Document 6 - Effets des séismes sur les rivages de Patagonie





6a - La carte de l'aléa sismique de l'Amérique du Sud

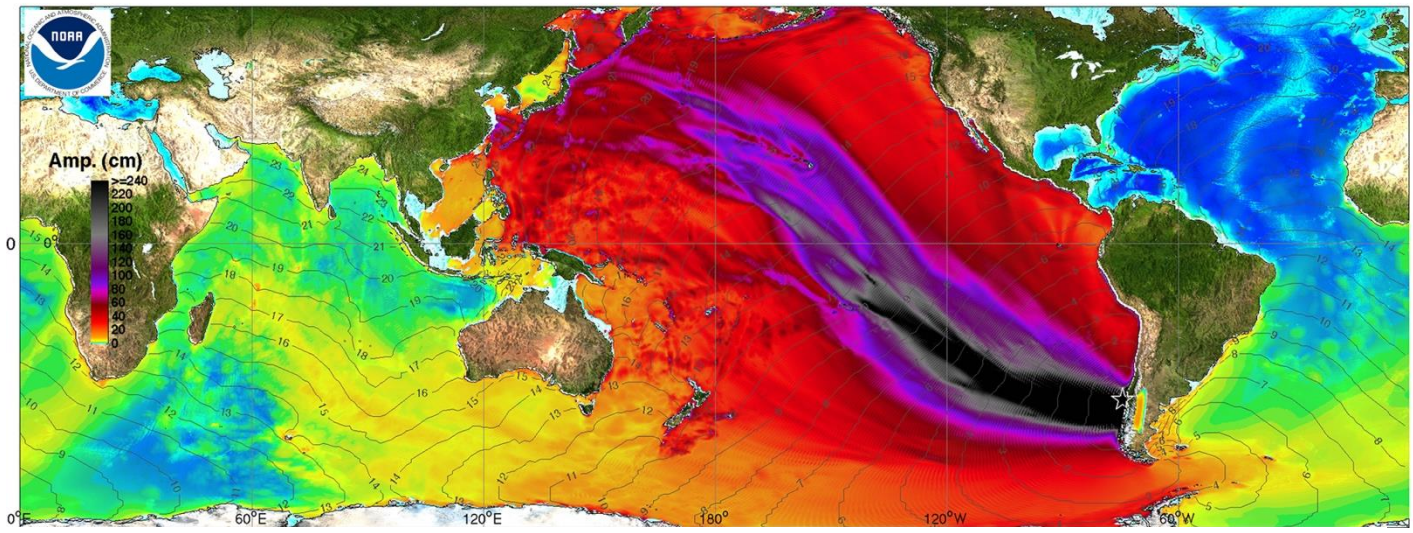
La carte, basée sur l'étude des séismes anciens, décrit la probabilité qu'un séisme destructeur affecte la région représentée. L'aléa (*hazard* en anglais) est déterminé par la probabilité de 10 % de dépasser le seuil de PGA (PGA = *Pic Ground Acceleration* ou accélération maximale du sol, en $m.s^{-2}$) dans les 50 prochaines années.

Les zones où les accélérations les plus élevées sont attendues, correspondent aux zones les plus susceptibles de générer des tsunamis.

(d'après le GSHAP : Global Seismic Hazard Assessment Program)

6b - Formation d'un tsunami *(AFP/Nature-USGS)*

La vague formée au large présente une faible amplitude tant que la profondeur d'eau est conséquente. Avec la diminution de la profondeur vers le rivage, l'énergie transmise par l'eau entraine une augmentation de l'amplitude (hauteur) des vagues qui déferlent sous forme de vagues géantes sur la côte. Suite au séisme de 2004 en Indonésie (Magnitude 9,3), la vague maximale a atteint plus de 30 m de hauteur (Paris *et al.*, 2007, Marine Geology)

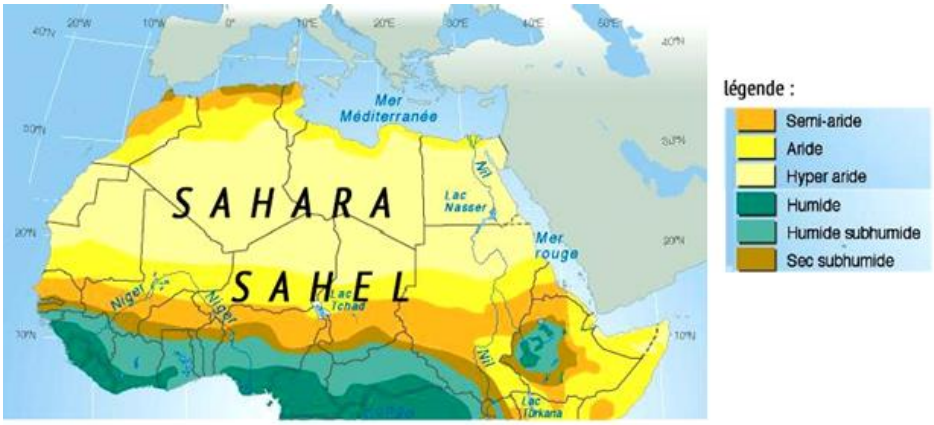


6c - Propagation et amplitude des vagues du tsunami du 22 mai 1960 dans le Pacifique *(d'après NOAA)*

Le tsunami s'est déclenché suite au plus gros séisme historique enregistré à la surface du globe (Magnitude 9,5), à Valdivia au nord de la Patagonie Chilienne. Il a fait le tour du monde !

Les vagues de plus de 2,4 m de hauteur au large (en noir sur l'image) ont déferlé à plus de 22 m de hauteur sur les côtes chiliennes entrainant 231 victimes et près de 950 millions de dollars de dégâts *(d'après USGS)*. Les spécialistes estiment que de tels phénomènes se reproduisent environ tous les 300 ans *(Cisternas et al., 2005, Nature).*

La désertification du Sahara



Atlas de géographie

Aujourd'hui, le Sahara n'est qu'un immense désert de sable et de pierres. Mais il y a 10 500 ans, sous l'effet d'un renforcement des pluies de la mousson africaine, le Sahara était une région entièrement verte. Une savane tropicale y était installée. Le paysage était parsemé de lacs et peuplé d'une faune d'hippopotames, de crocodiles et d'éléphants. On estime que cette période humide cessa il y a environ 7 000 ans, le Sahara prenant cet aspect minéral qui nous est si familier aujourd'hui.

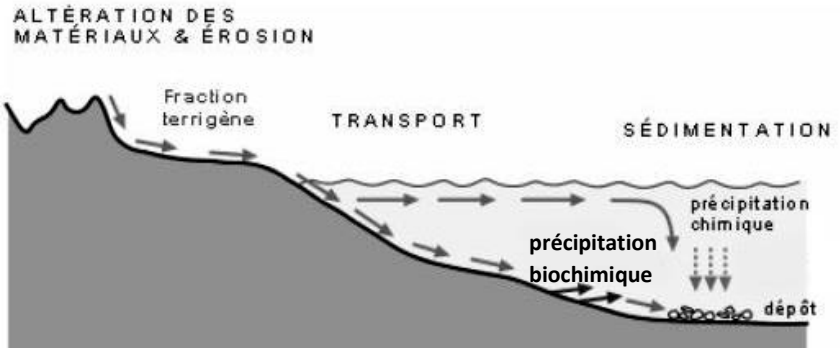
Afin de préciser cette histoire, des scientifiques se sont basés, entre autres, sur des analyses de sédiments prélevés dans l'Atlantique, au large de la Mauritanie, et des simulations numériques. Mais les données recueillies au fond du lac Yoa, dans l'oasis tchadienne d'Ounianga Kébir, ne semblent pas raconter exactement la même histoire…

Texte adapté d'après La Recherche

1) En vous appuyant sur les documents de référence, expliquer comment les deux études, menées respectivement à partir de l'étude de sédiments marins de l'Atlantique et de sédiments lacustres du Tchad, permettent de préciser l'histoire géologique du Sahara. Vous vous attacherez notamment à discuter de la durée du phénomène de désertification.

2) Proposer une explication aux différences observées entre les deux études.

Document de référence A - Le processus d'érosion-sédimentation



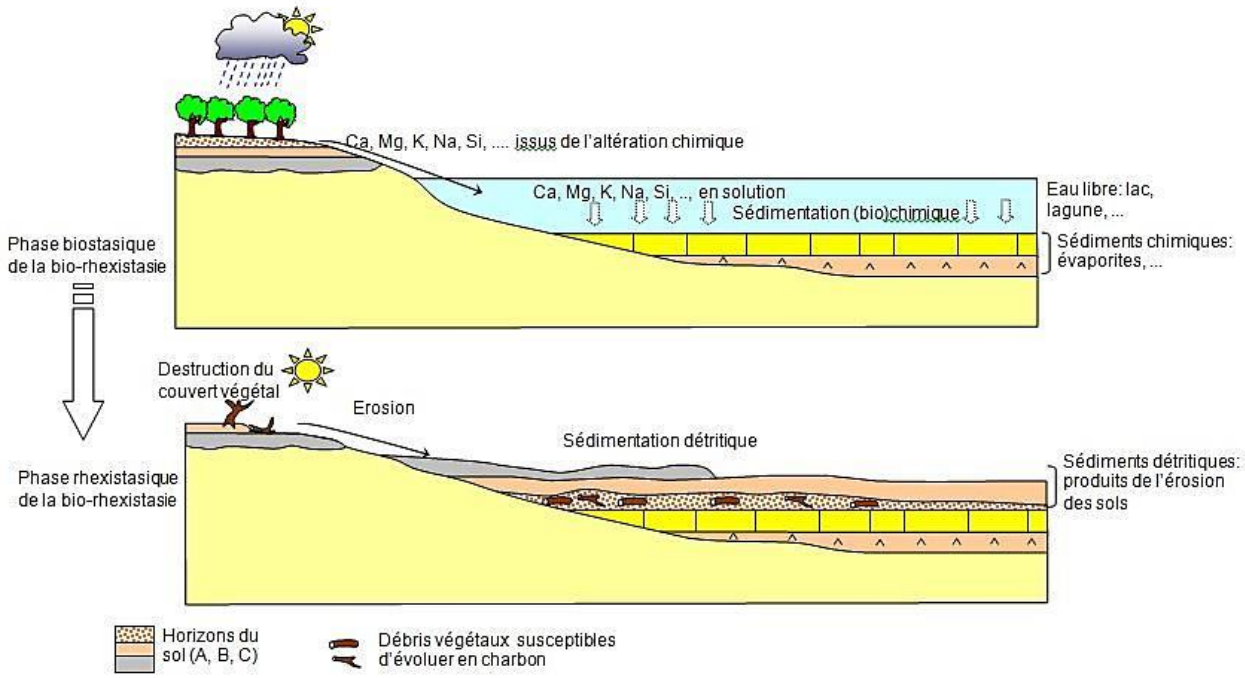
La destruction mécanique et chimique des roches constitue la source principale des matériaux des sols et des solides transportés par le vent et l'eau (fraction terrigène). Tous ces produits transportés s'accumulent dans un bassin de sédimentation.

Les sédiments s'y déposent, progressivement, en couches successives dont la composition, la taille des particules, la couleur, etc., varient dans le temps selon la nature des sédiments apportés. C'est ce qui fait que les dépôts sédimentaires sont stratifiés. D'autre part leur enfoncement progressif permet d'atteindre des épaisseurs de plusieurs milliers de mètres.

Outre les matériaux terrigènes, qui proviennent de l'érosion des continents, se déposent des matériaux d'origine biologique ou biochimique, principalement des coquilles ou fragments de coquilles des organismes, et des précipités chimiques.

Image modifiée, d'après http://acces.ens-lyon.fr/ et texte adapté d'après Chamley, 1990 et BRGM, revue géosciences n°13

Documents de référence B - La biostasie et la rhexistasie



La théorie de la bio-rhexistasie repose sur les phénomènes de formation des sols et de leur destruction sous l'influence des modifications du climat et du couvert végétal des continents. On distingue deux périodes :

- en période de biostasie, la stabilité climatique est telle que se développe un couvert végétal protégeant le sol de l'érosion mécanique, éolienne ou hydrique ; l'altération chimique devient alors prépondérante ;
- en période de rhexistasie la destruction du couvert végétal ne permet pas la protection des sols. L'érosion, intense, décape les sols et fournit des sédiments terrigènes, ou détritiques, en abondance.

Image d'après www.svt.ac-dijon.fr/
Texte adapté d'après L. Emmanuel, Marc de R et A. Pasco, 2014

Document 1- Les sites et outils utilisés pour reconstituer l'histoire climatique du Sahara

Document 1a - Les carottes sédimentaires

Un carottier est un système permettant de récolter, manuellement, jusqu'à 10 mètres de profondeur, des carottes de sédiments de 50 cm de longueur. L'analyse des échantillons récoltés révèle différents indices, par exemple, nature et granulométrie des sédiments, présence de pollens, de fossiles.

Leur exploitation repose sur le principe d'actualisme qui admet que les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient également valables dans le passé.

Image modifiée et texte adapté d'après http://svt.ac-besancon.fr/les-sediments-lacustres/

Document 1b - La localisation des carottes ODP 658 et lac Yoa

Afin de reconstituer l'histoire du Sahara, de nombreux chercheurs ont focalisé leur attention sur la dernière période de désertification de ce dernier. Ainsi différents échantillonnages, dont l'analyse mènera les scientifiques à différentes conclusions, ont été effectués :

- la carotte marine du site ODP 658, par le chercheur P. deMenocal et son équipe ;
- la carotte lacustre du lac Yoa, un des lacs situés près du village d'Ounianga Kébir, restes d'un lac plus grand qui occupait le bassin d'Ounianga Serir lors de la période africaine humide, par le chercheur S. Kröpelin et son équipe.

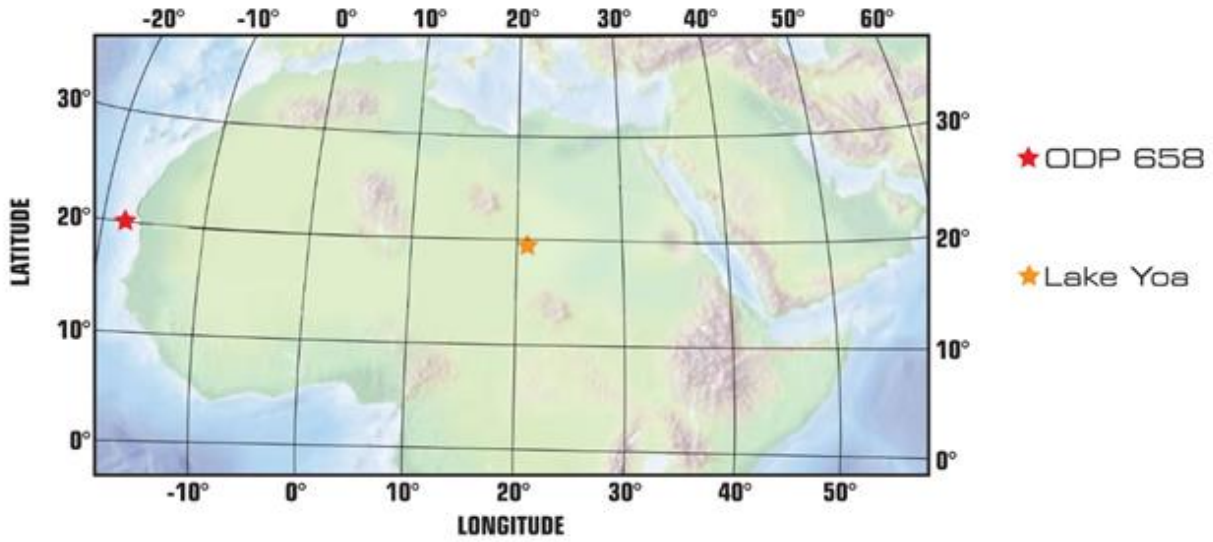
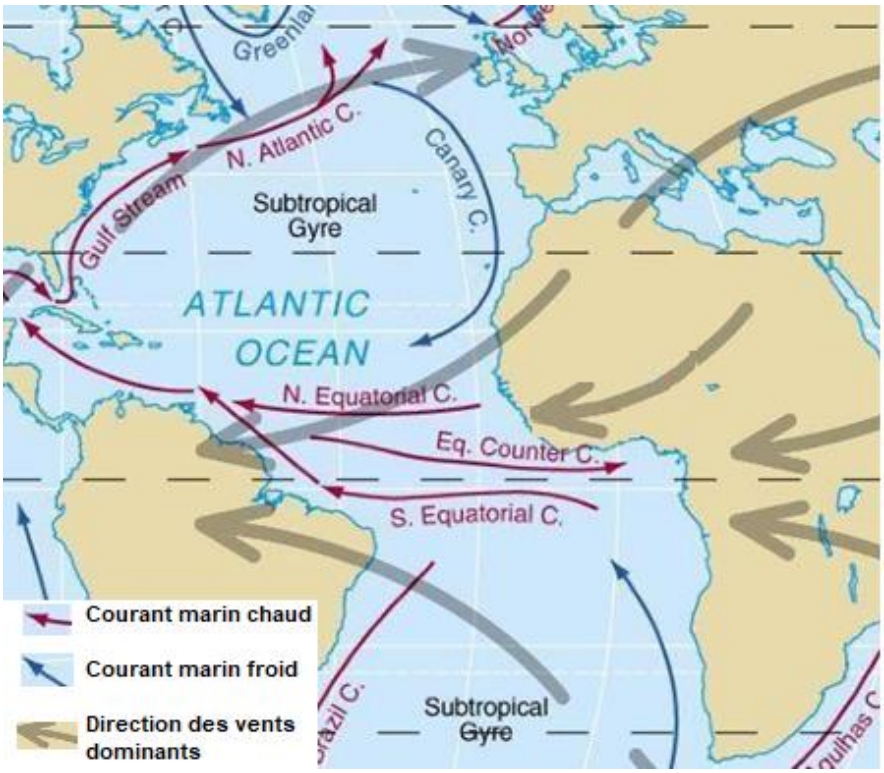


Image modifiée et texte adapté d'après Brovkin and Claussen, Science 2008

Document 1c - Les courants marins de l'Atlantique et les vents sahariens

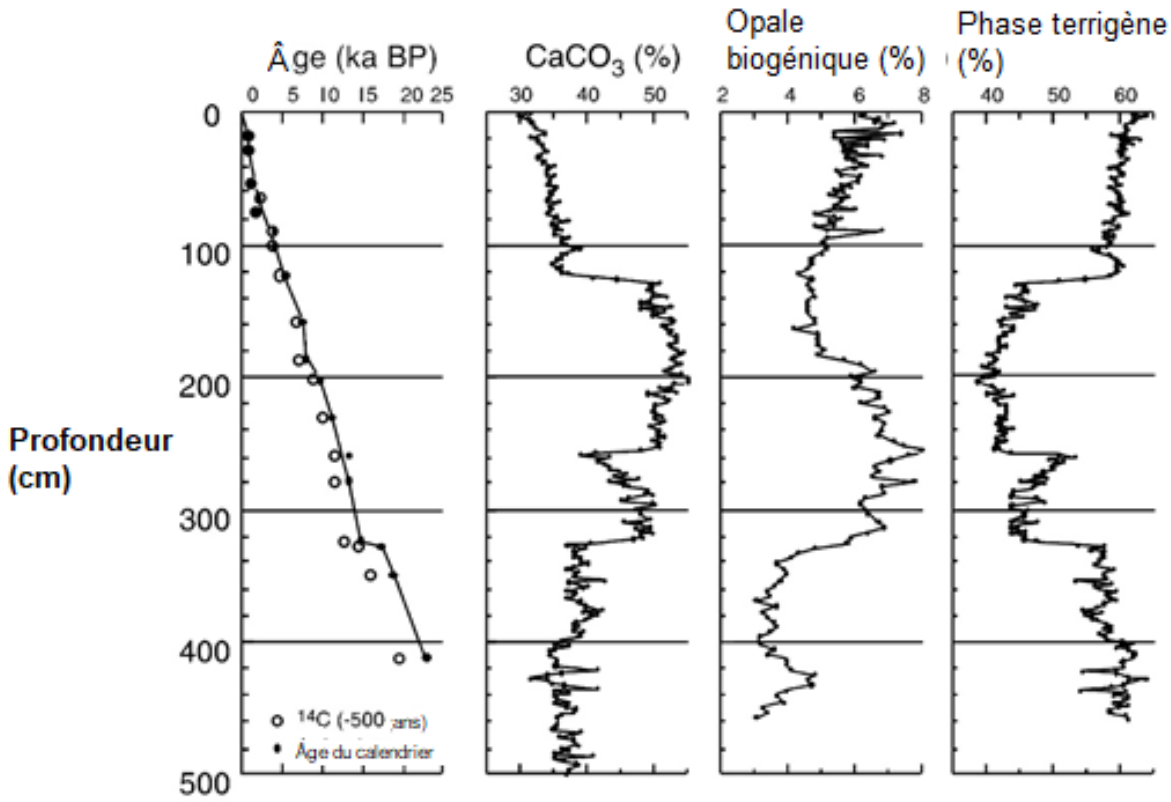
Le site 658 a été creusé à 20,45°N et 18,35°O par 2263 m de profondeur.
La sédimentation y présente un taux élevé d'accumulation (moyenne de 18 cm pour 1000 ans) dû à la double influence de :
- la productivité régionale élevée de l'océan en surface ;
- l'arrivée massive de particules provenant d'Afrique, transportées par le vent.

Le site est situé directement sous l'axe du panache de poussières d'Afrique estivale qui transporte environ 400 tonnes de particules minérales par an, des régions subsaharienne et sahélienne de l'Afrique du Nord-Ouest à l'Atlantique subtropical adjacent.



Texte adapté, d'après deMenocal et al., Quaternary Science Reviews 2000

Document 2 - Quelques résultats obtenus avec la carotte ODP 658



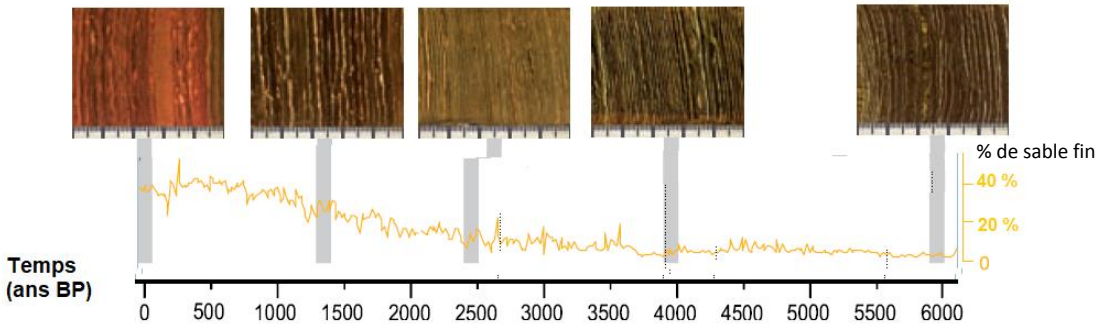
Légende :
BP (before present) = datation utilisée pour désigner les âges en nombre d'années, comptées vers le passé, à partir de l'année 1950.

Ces graphiques représentent le pourcentage des sédiments composant la carotte ODP 658 en fonction de la profondeur (par rapport à la surface du sédiment). Les mesures ont été effectuées dans des échantillons prélevés de façon continue, à 2 cm d'intervalle.
Le carbonate de calcium et l'opale biogénique correspondent à des sédiments d'origine biologique (se formant à partir de l'accumulation dans les fonds marins de restes d'organismes vivants, respectivement à partir de squelettes calcaires ou siliceux).
La phase terrigène représente la part des matériaux d'origine terrestre, apportés par le vent ou l'eau.

Image retouchée et texte adapté, d'après deMenocal et al., Quaternary Science Reviews 2000

Document 3 - Les résultats des travaux de recherche des équipes de Kröpelin sur le lac Yoa

Document 3a - La lithologie, photographies et mesure de la fraction terrigène

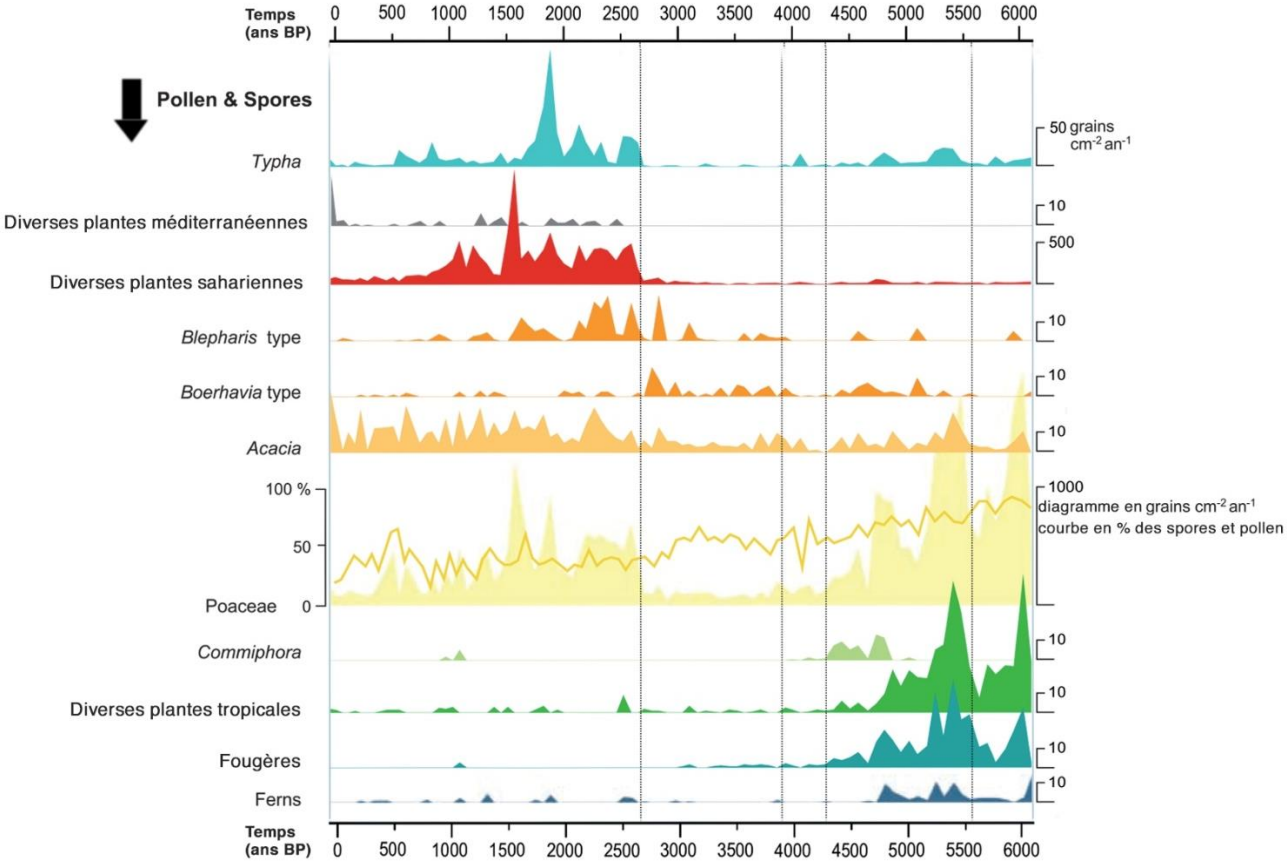


Les photographies représentent des fragments de carottes sédimentaires dont la couleur est d'autant plus noire que le sédiment est riche en matière organique.

Image modifiée, d'après Kröpelin et al. 2008, Science

Document 3b - Le diagramme pollinique issu de la carotte du lac Yoa

Spores et pollens se conservent parfaitement dans les sédiments des lacs. En déterminant les pollens fossiles on peut donc reconstituer la composition du couvert végétal au moment où se sont déposés ces sédiments. L'établissement de diagrammes polliniques permet de suivre l'évolution des associations végétales au cours du temps, liées à l'évolution des conditions climatiques.



Légende : - *Typha* : plante de milieu humide à large aire de répartition géographique, des régions tempérées et tropicales. - *Blepharis* : plante de milieu sec et aride - *Boerhavia* : plante herbacée cosmopolite fréquente en régions subtropicales et tropicales - *Acacia* : plante de régions semi-arides - Poacées ou graminées : 12 000 espèces à la répartition cosmopolite	- *Commiphora* : plante d'habitat aride à semi-aride - *Erica arborea* : bruyère arbustive commune dans la région méditerranéenne, héliophile, supporte la sècheresse - Fougères : aussi appelées Filicophytes, ce groupe comprend 13 000 espèces ; plantes des milieux humides. Elles produisent des spores et non des grains de pollen

Image modifée, d'après Kröpelin et al. 2008, Science. Texte et légendes adaptés d'après http://www.svt.ac-besancon.fr/les-sediments-lacustres/

Document 3c - La conductivité de l'écosystème du lac Yoa

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique, et est mesurée en microsiemens/cm (µS.cm^{-1}). Elle est directement proportionnelle à la quantité de sels minéraux dissous dans l'eau, qui proviennent de l'érosion.

Ainsi, plus la salinité est élevée, plus la conductivité est grande. La salinité dépend des apports en ions minéraux et en eau ainsi que de l'intensité de l'évapotranspiration.

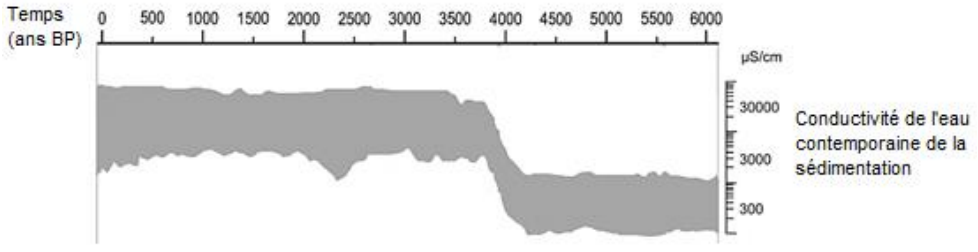


Image modifiée, d'après Kröpelin et al. 2008, Science

Olympiades de géosciences 2019

Nouvelle-Calédonie
Polynésie française
AEFE

Épreuve écrite des 3 et 4 avril 2019

Durée de l'épreuve : 4 h

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 n'est pas autorisée.

Ce sujet comporte 15 pages

Le lac Pavin : un tueur en Auvergne ?

Le lac Pavin, ainsi que le lac Nyos – situé au nord-ouest du Cameroun est un lac méromictique (voir document 2). Or, dans la soirée du 21 aout 1986, le lac Nyos a libéré environ un kilomètre cube de dioxyde de carbone. Cette catastrophe a entraîné la mort de 915 personnes à proximité immédiate du lac Nyos. À l'ouest, plusieurs hameaux dispersés le long de la vallée de la Fang ont été touchés par la catastrophe. Le bilan humain total est de 1 746 victimes. Toutes ont retrouvées dans un paysage quasi intact, portant seulement, à certains endroits, les traces d'un violent coup de vent. Plus de 3 000 personnes ont dû quitter leurs maisons et ont été regroupées dans des camps.

En mai 2009, s'est tenu un colloque international intitulé « Lac Pavin et autres lacs méromictiques ». Celui-ci étant susceptible d'être dangereux, on s'intéresse ici au risque pour les populations environnantes et aux mesures prises pour le limiter.

Vous êtes chargé de réaliser une synthèse du colloque à partir des documents fournis. Votre synthèse comportera deux parties :

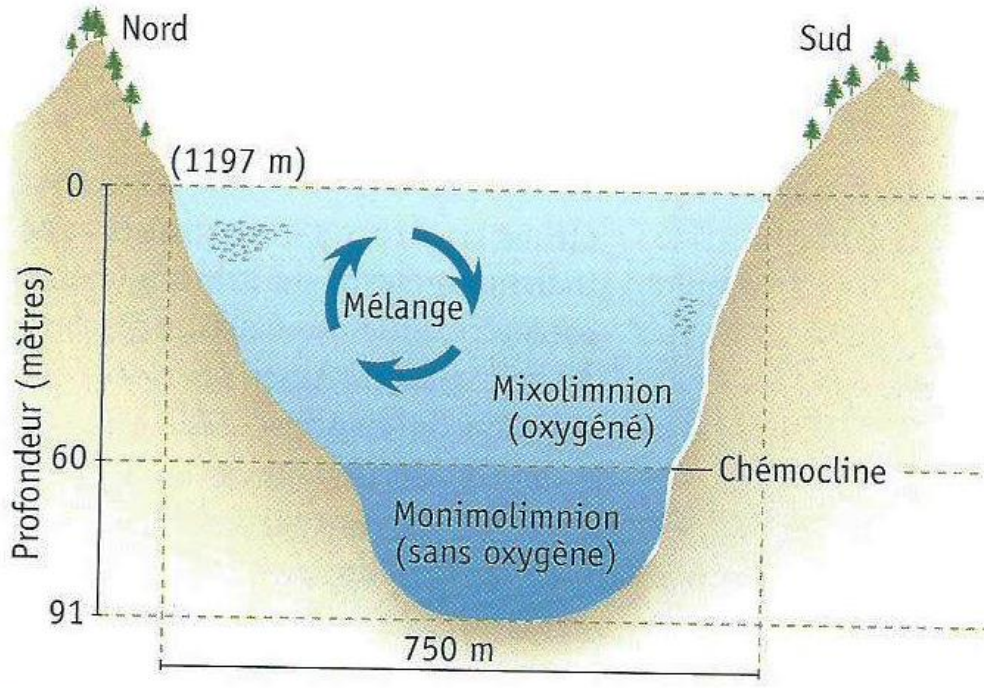
Partie 1- Évaluer la dangerosité potentielle du lac Pavin. Pour cela vous confronterez les données concernant le lac Pavin à celles du lac Nyos.

Partie 2 - Évaluer la pertinence, dans le cas du lac Pavin, des deux solutions techniques visant à limiter les risques liés aux lacs méromictiques : consolidation des zones à risque d'éboulements et dégazage des eaux profondes.

Document 1 - Comparaison du lac Nyos et du lac Pavin

	Lac Nyos (Cameroun)	Lac Pavin (France)
Photographie	*Source : Camer.be*	*Source : France Culture*
Superficie (hectares)	158	45
Profondeur (mètres)	210	92
Altitude (mètres)	1091	1191
Origine	Le lac occupe le cratère d'un ancien volcan.	Le lac occupe le cratère d'un ancien volcan.
Longueur (kilomètres)	2	0,750
Largeur (kilomètres)	1,2	0,750
Régime hydrique	Méromictique	Méromictique
Caractéristiques des eaux profondes	Eaux profondes riches en CO_2	Eaux profondes riches en CO_2

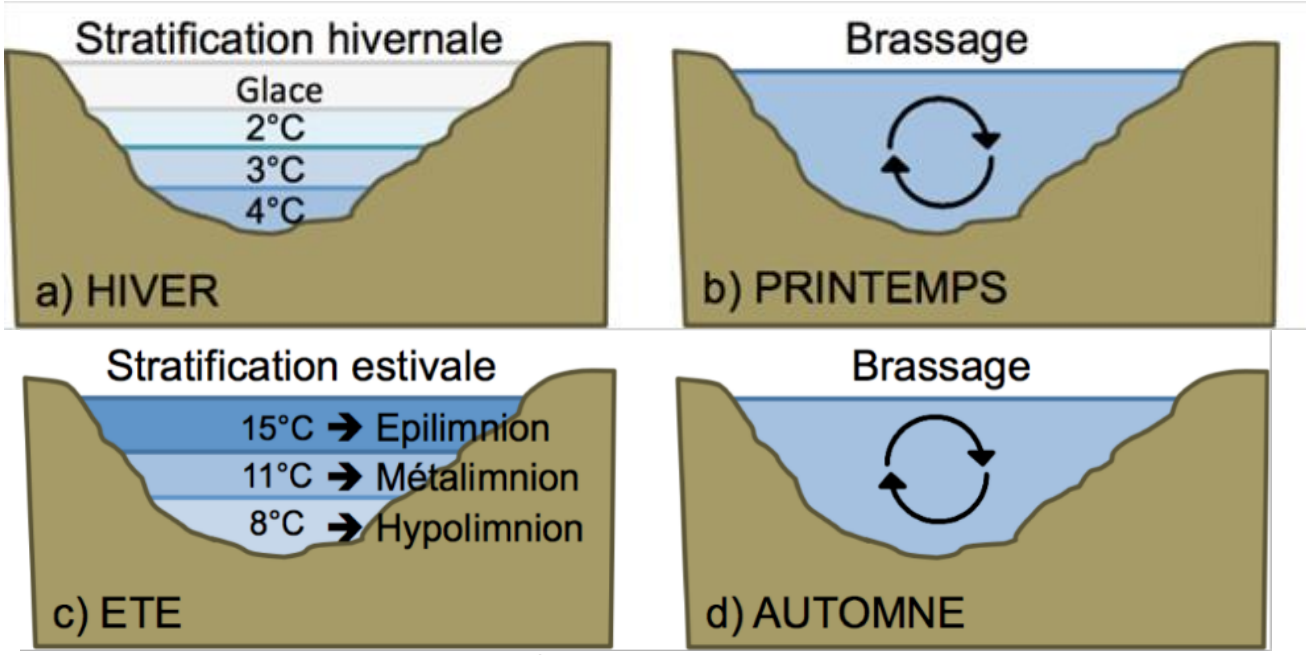
Document 2 - Définition du régime hydrique d'un lac méromictique
2a- La stratification des eaux dans un lac méromictique.
Ce schéma est valable toute l'année.



D'après Pour la Science. Dossier n°58 Janvier Mars 2008

Le monimolimnion représente la couche profonde sans luminosité, ni dioxygène mais riche en dioxyde de carbone. Elle peut être, en outre, caractérisée par une pression intense (de l'ordre de dix fois la pression atmosphérique). On y trouve différentes bactéries ayant majoritairement des métabolismes anaérobies (en absence de dioxygène) capables de produire de l'énergie à partir du méthane notamment. Elles sont d'intérêt scientifique car elles permettent d'étudier les métabolismes adaptés à des conditions que l'on pouvait trouver sur Terre au moment de l'apparition de la vie et certaines seraient capables de dégrader des substances toxiques.

2b - Schéma de l'évolution de la température et du brassage de l'eau dans un lac standard (non méromictique) au cours d'une année



D'après « réseau lac sentinelles » http://www.lacs-sentinelles.org/fr/pages/les-lacs-daltitude

Document 3 - Causes supposées de la catastrophe du lac Nyos

L'origine de la catastrophe du lac Nyos demeure controversée.

Première hypothèse : éruption limnique

La libération de dioxyde de carbone a été causée par la chute d'un pan de la falaise qui surplombe le lac. Cette chute de roches a entraîné un brassage assez rapide des eaux de surface et profonde, entraînant un « retournement » des eaux du lac. Les eaux contenant le dioxyde de carbone se sont ainsi retrouvées en surface, ce qui a favorisé les émanations gazeuses.
Comme le dioxyde de carbone possède une masse volumique une fois et demi plus élevée que celle de l'air (1,87 $kg \cdot m^{-3}$ contre 1,225 à 15 °C et 1,013 bar), il a stagné au niveau du sol puis s'est dispersé sur une grande surface jusqu'aux villages et prairies environnants, causant la mort des villageois et de leurs troupeaux.

Deuxième hypothèse : éruption phréatomagmatique

La libération du dioxyde de carbone a été provoquée par une éruption phréatomagmatique, c'est-à-dire issue de la rencontre entre le magma et les eaux du lac.

D'après http://mhalb.pagesperso-orange.fr/nyos/project/indexproj.htm
D'après http://www.saga-geol.asso.fr/Geologie_page_conf_volcanisme_environnement.html

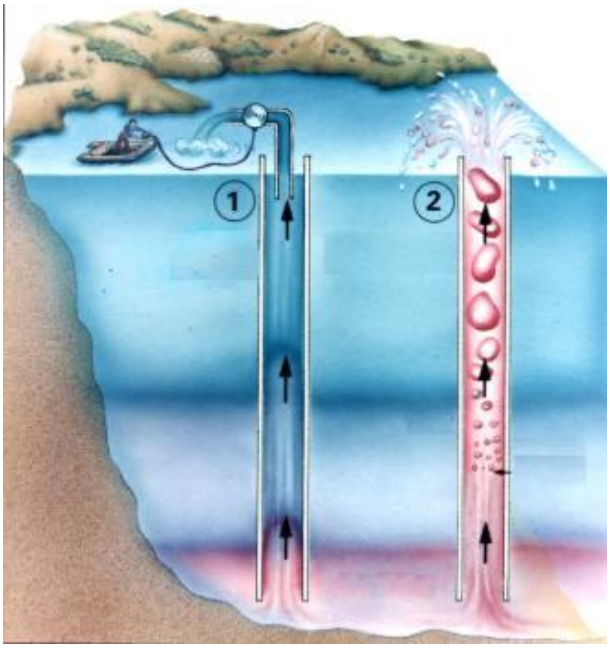
Document 4 - Passé géologique de la région du lac Pavin

Des chercheurs évaluent l'âge des traces d'activité volcanique passée du Pavin. Le cratère formant le lac Pavin est issu d'un volcanisme récent (-6 900 ans).. La présence de petits cratères près de celui-ci suscite un débat. Pour certains, ces éléments attestent d'une activité récente du volcan à l'origine du lac Pavin. Pour d'autres, ces éléments seraient plus anciens. Seules des études plus approfondies de ces structures permettraient d'établir leur âge approximatif. Par ailleurs, une coulée de boue apparue dans la vallée de la Couze-Pavin semble indiquer que le lac Pavin a débordé par le passé, peut-être lors d'une éruption. Cette coulée a été datée : elle remonterait à l'an 1300.

D'après France Culture. Les mystères du lac Pavin, émission du 20/09/2010

Document 5 - Prévention du risque d'éruption limnique du lac Nyos

La technique pour prévenir le risque de dégazage du lac Nyos consiste à diminuer progressivement le taux de dioxyde de carbone dans les eaux du lac. On utilise un dispositif de siphonage utilisé dans l'industrie pétrolière : on immerge un tuyau jusqu'au fond du lac, on amorce le pompage de l'eau et on provoque artificiellement une remontée des eaux dans le tuyau (étape 1). La pression de l'eau diminue alors et libère le dioxyde de carbone qu'elle contient (étape 2). À l'extrémité supérieure du tuyau, le mélange eau + gaz forme un jet d'eau qui peut atteindre plus de 40 m de haut.



Document 6 - Prévention du risque d'éboulement au niveau du lac Pavin

Le lac est situé sur la commune de Besse-et-Sainte-Anastaise, dans la chaîne des Puys formée d'anciens volcans. Cette zone est délimitée par des failles qui peuvent provoquer des séismes et potentiellement des éboulements.

6a - Synthèse des risques majeurs sur la commune de Besse-et-Sainte-Anastaise

Risques identifiés sur la commune

- **Feu de forêt**
- **Inondation**
  Par une crue torrentielle ou à montée rapide de cours d'eau
- **Mouvement de terrain**
  Eboulement, chutes de pierres et de blocs
  Glissement de terrain
- **Phénomène lié à l'atmosphère**
- **Séisme**

Zone de sismicité 3

Documents de prévention

Sismicite modérée visant les risques suivants : Séisme
Approuvé le 22/10/2010
Appliqué le 01/05/2011
Appliqué par anticipation Non
Décret (143.66 Ko)

Copie d'écran de la page du site : https://risques.auvergne.pref.gouv.fr/commune/63038

L'échelle de risque sismique compte cinq zones. La zone 5 correspond au niveau d'aléa le plus élevé et concerne les Antilles françaises. La métropole et les autres DOM présentent quatre zones sismiques, de la zone 1 de sismicité très faible (bassin aquitain, bassin parisien, etc.) à la zone 4 de sismicité moyenne (fossé rhénan, massifs alpin et pyrénéen).

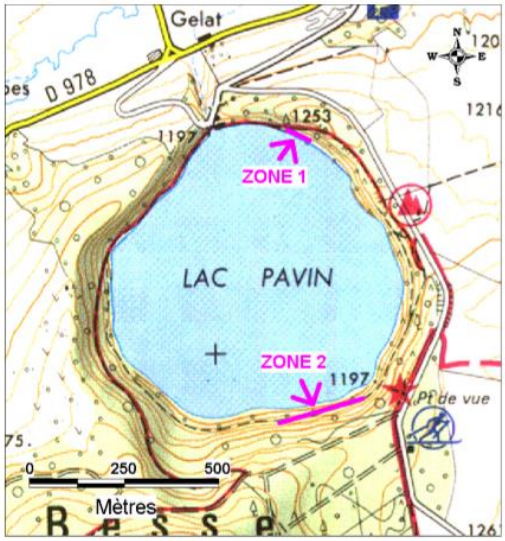
6b - Extraits de deux rapports du Bureau de Recherches Géologiques et Minières

- Étude préliminaire de la stabilité des flancs internes du cratère du lac Pavin, juillet 2009.

[Les investigations ont] « permis, à l'appui d'arguments géomorphologiques, d'écarter l'hypothèse d'un mouvement de terrain de grande ampleur (1,2 millions de m^3) qui serait survenu au cours du Moyen-âge et aurait entrainé un retournement et un dégazage des eaux du lac, voire une coulée de boue catastrophique dans la vallée de Couze-Pavin. L'analyse des morphologies sous-lacustres conclut en outre à l'absence probable de mouvements de terrain de grande masse depuis la dernière éruption présumée (-6 700 ans).
En revanche, il est quasi certain que les pentes sous-lacustres ont fait l'objet de mouvements de terrain de moyenne ampleur (de l'ordre de 10 000 m^3 […] Il apparait peu probable que de tels mouvements de terrain, […] entrainent une remontée brutale de ces eaux vers la surface. »

- Examen des risques d'éboulements au droit du chemin circulaire du lac Pavin, juillet 2006.

« Après analyse, il s'avère que les risques d'éboulement sont principalement concentrés au droit de deux zones distinctes totalisant un linéaire d'environ 270 m.
La zone 1, sur le flanc est du cratère, concerne environ 40 m de falaise sommitale dont le démantèlement et l'état de fracturation menacent à moyen terme le chemin.
La zone 2 concerne un linéaire de 230 m de chemin principalement situé entre la 2ème et la 6ème sources des Prêtres.
Les risques identifiés sont principalement des risques de moyen terme (délai de rupture 1 an), sauf pour une colonne de basalte de 20 m^3 dont la rupture parait possible à court terme (quelques semaines à quelques mois).
Dans l'immédiat, il convient à minima de baliser les zones 1 et 2 à l'aide de panneaux signalant les risques 'éboulement.
Dans les meilleurs délais (2 mois), il y a lieu de traiter la colonne de basalte de 20 m^3, soit par purge au vérin hydraulique, soit par la mise en place d'un filet ASM plaqué et épinglé au rocher.



Localisation du site sur l fond IGN à 1/25 000

Quand le Lac Léman déborde

Durant le Moyen-Âge, l'évêque Marius d'Avenches (455-581) fait le récit d'une catastrophe naturelle majeure ayant touché les abords du lac Léman.
« Cette année-ci (563), la grande montagne s'écroula si subitement qu'elle écrasa un bourg qui était proche des villages et en même temps tous leurs habitants. Sa chute mit aussi en mouvement tout le lac [...] qui en sortant de ses deux rives, détruisit des villages très anciens avec hommes et bétails. [...] Enfin, il entraîna avec furie le pont de Genève, les moulins et les hommes et, étant rentré dans la cité de Genève, il y fit périr plusieurs personnes. »
Un millénaire et demi après cette catastrophe, on cherche à comprendre ce qui s'est passé dans ce lac situé dans les Alpes, à la frontière entre la France et la Suisse.

On s'intéresse aux investigations de chercheurs de l'université de Genève qui proposent un scénario explicatif pour cet évènement du haut Moyen-Âge.

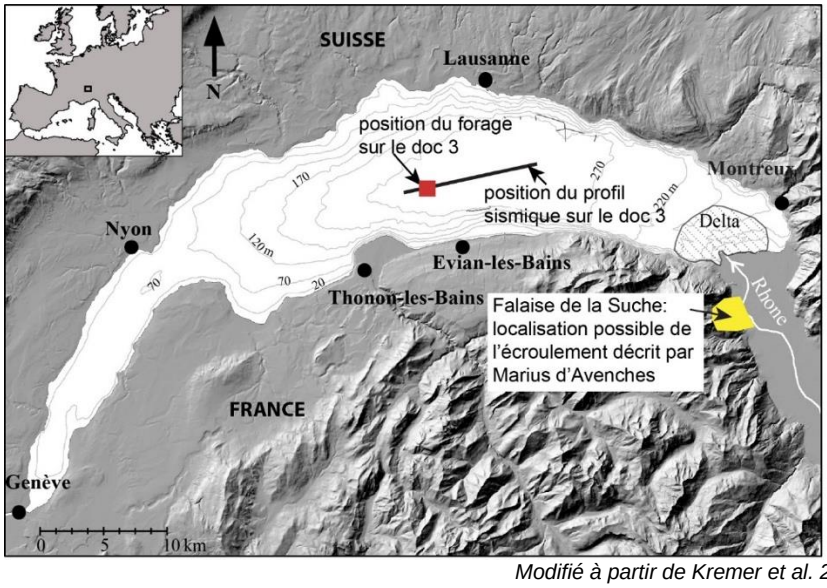
1) **À partir des documents 2 à 4, identifier les arguments scientifiques en faveur d'une compatibilité de l'anomalie de sédimentation avec l'inondation de Genève de 563.**

2) **Sachant que le volume de sédiments de l'anomalie est de 0,25 km^3 soit 25.10^7 m^3, montrer, à partir du document 5, que le déplacement rapide de ce volume de sédiments a pu générer des vagues dépassant Lausanne.**

3) **Afin de retracer les évènements ayant conduit à cette catastrophe, on peut envisager trois hypothèses.**
À partir de l'ensemble des documents disponibles, discuter chacune des hypothèses.
Présenter votre réponse dans un tableau.

Hypothèse 1	Les blocs, issus de l'écroulement de la montagne décrit par Marius d'Avenches, arrivent dans le lac et provoquent directement le tsunami.
Hypothèse 2	L'écroulement de la montagne crée une onde de choc qui provoque l'effondrement du delta sous l'eau à l'origine du tsunami. Les matériaux du delta sont composés de boues et de petites particules non soudées entre elles.
Hypothèses 3	Le tsunami est provoqué par un séisme local et de forte intensité.

Document 1 -Carte topographique de la région du lac Léman

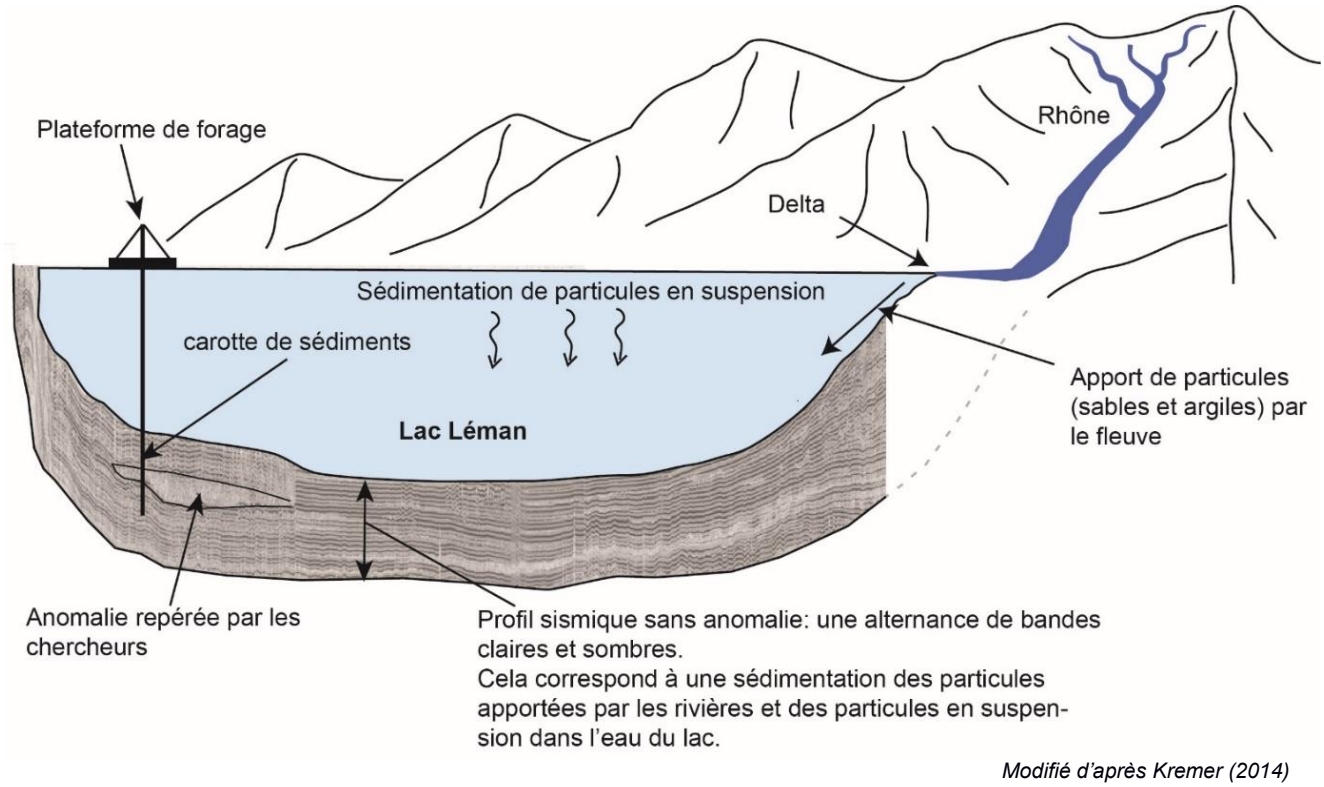


Modifié à partir de Kremer et al. 2012

Les courbes bathymé-triques (en mètres) les profondeurs actuelles du lac.
Le forage indiqué par le carré rouge a été effectué dans la zone la plus profonde du lac.

Document 2 - Photographie d'un écroulement rocheux dans le Valais (Suisse)

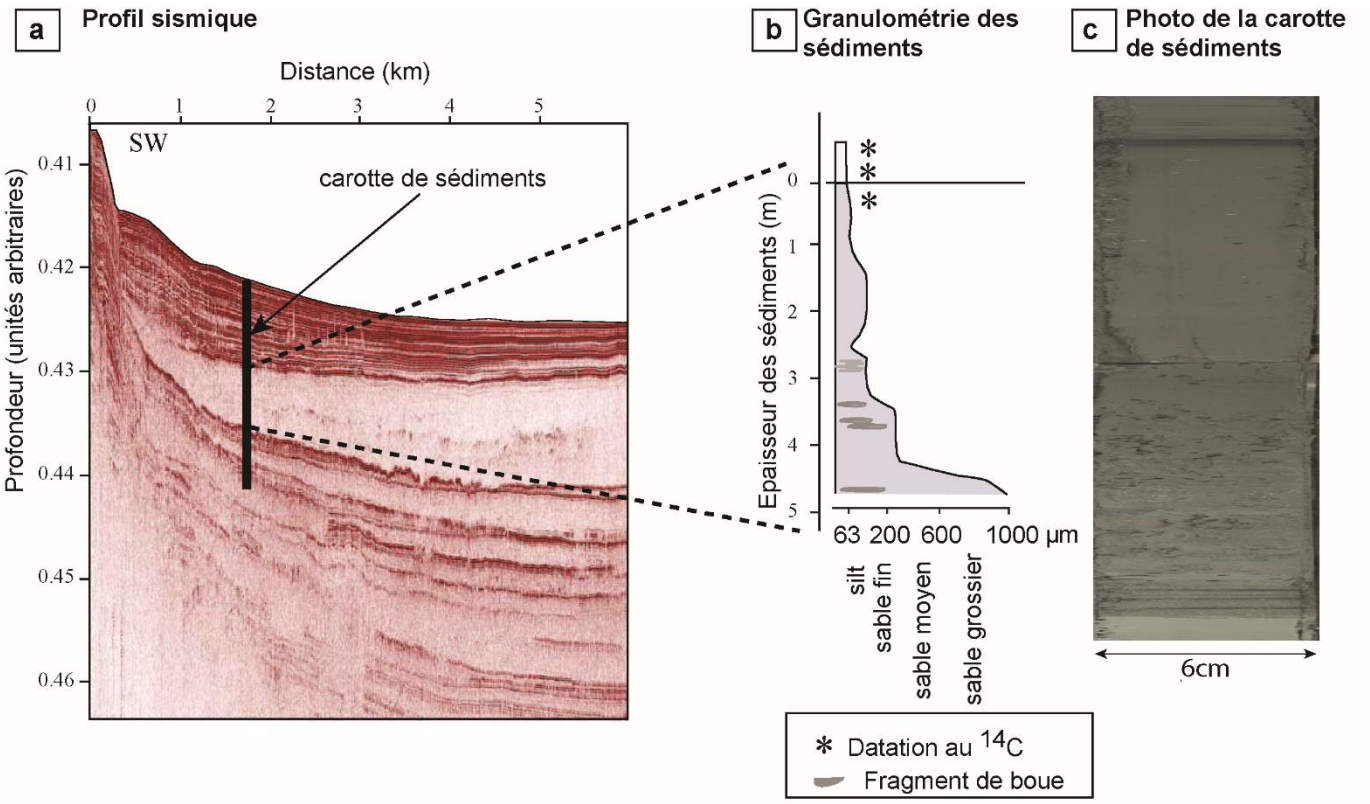
Document 3 - Profil de sismique réflexion* (zone grise) et sédimentation dans le lac Léman



Modifié d'après Kremer (2014)

**La sismique réflexion est une méthode géophysique qui permet de visualiser l'organisation des sédiments déposés au fond du lac.*

Document 4 - Profil de sismique réflexion et granulométrie de la carotte de forage prélevée au fond du lac (voir la position du forage sur le document 1)

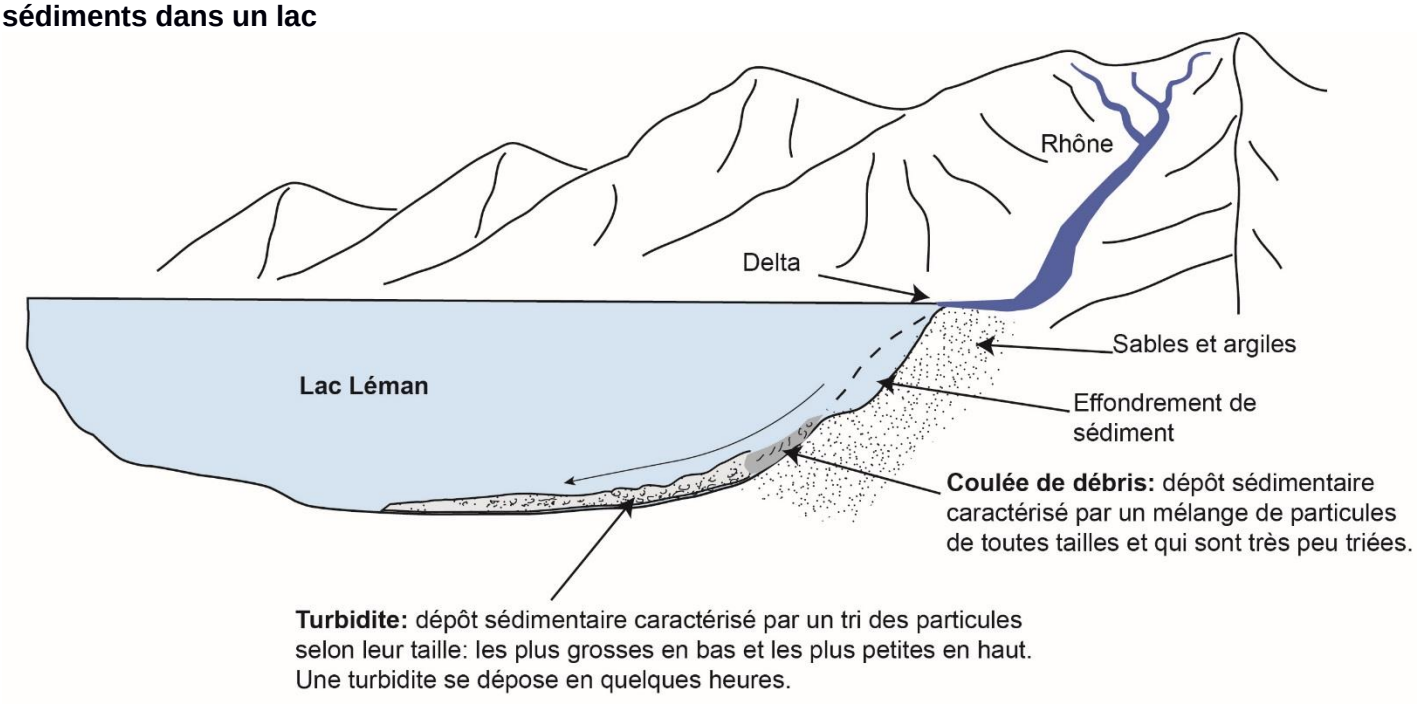


Un silt, appelé encore limon, correspond à un dépôt sédimentaire constitué de grains dont la taille est intermédiaire entre celle d'un sable et d'une argile.

Modifié d'après Kremer et al. (2012)

On peut dater des restes végétaux présents dans les sédiments de la carotte : la datation au carbone 14 (^{14}C, astérisques sur le graphique) donne des âges compatibles avec la catastrophe datée de 583 après JC.

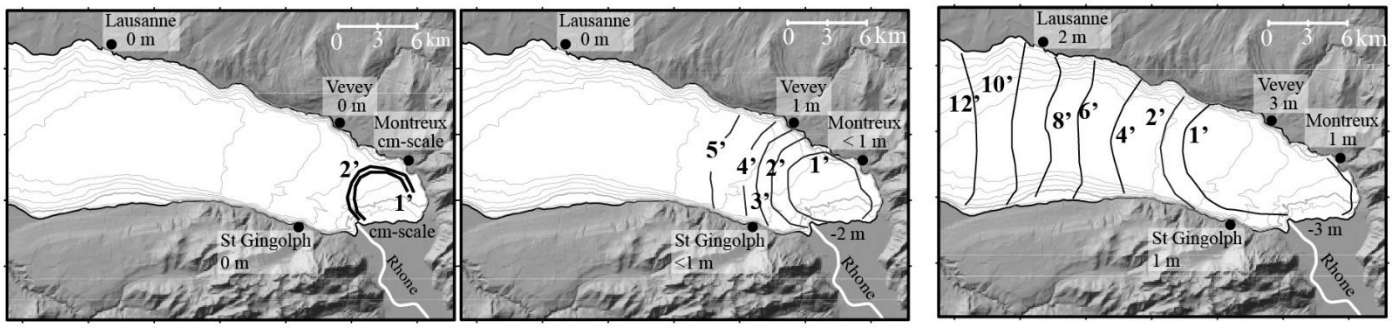
Document 5 - Schéma des processus sédimentaires associés à un effondrement de sédiments dans un lac



Modifié d'après Kremer (2014)

Document 6 - Modélisation du déplacement d'une vague générée par l'effondrement de sédiments du delta du Rhône dans le lac Léman

Trois simulations sont réalisées avec des volumes croissants de sédiments.



Simulation 1: Volume de sédiments: $10^5 m^3$

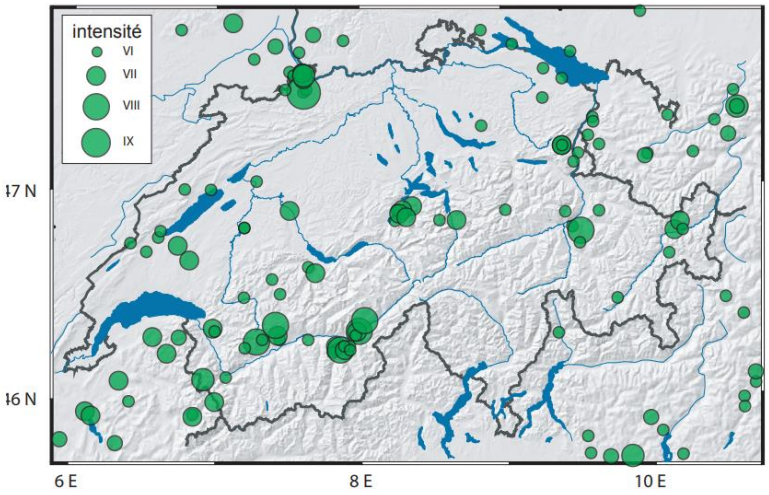
Simulation 2: Volume de sédiments: $10^6 m^3$

Simulation 3: Volume de sédiments: $10^7 m^3$

Modifié d'après Kremer et al. 2015.

Les traits noirs dans le lac indiquent le temps d'arrivée de la première vague en minutes.
Les valeurs sous le nom des villes indiquent la hauteur de la première vague quand elle atteint le rivage.

Document 7a - Carte des épicentres des séismes historiques* depuis l'année 250 jusqu'en 1950 ayant endommagé des bâtiments (intensité supérieure ou égale à VI) en Suisse et dans les régions limitrophes



*Séisme historique : séisme documenté par les témoignages historiques (écrit, images…).
La dimension des cercles correspond à l'intensité estimée des séismes dans les témoignages.
http://www.seismo.ethz.ch

Document 7b - Échelle de Mercalli (intensité des séismes)

VI	Séisme ressenti par tous ; excitation générale. Petits dégâts aux maisons de mauvaise construction.
VII	Alerte générale, tout le monde se précipite à l'extérieur. Arbres et buissons oscillent considérablement. Vagues perçues à la surface des étangs et des lacs.
VIII	Peur générale, proche de la panique. Arbres oscillent violemment, branches brisées. Éjection de petites quantités de sable et de boue.
IX	Panique générale. Dégâts considérables dans les structures. Sol fissuré.
X	Crevasses et importants glissements de terrain à partir des berges de rivières et dans les pentes abruptes. Sable et boue déplacés. Eau des rivières et des lacs projetée sur le rivage.
XI	Glissements de terrain, effondrements, larges fissures. Eau transportant du sable et de la boue éjectée du sol. Il ne reste pratiquement aucune structure de maçonnerie.

http://www.seismescanada.rncan.gc.ca

Une ressource géologique des Pyrénées : le talc de Trimouns

Le terme « talc » répond à plusieurs définitions : c'est d'abord, pour le grand public, une poudre blanche utilisée pour les soins corporels. C'est aussi, pour le géologue, un minéral, un silicate de magnésium hydraté de formule $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Sa composition théorique est la suivante :

- silice (SiO_2) : 63 % ;
- oxyde de magnésium ou « magnésie » (MgO) : 32 % ;
- eau (H_2O) : 5 %.

Par extension, l'exploitant appelle aussi « talc » la roche ou « minerai » à partir de laquelle il est produit.

On cherche à comprendre les mécanismes qui ont été à l'origine de la genèse d'un gisement de talc, le gisement de Trimouns.

◄ Talc cosmétique

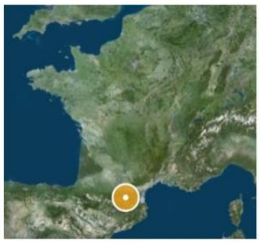
▼Échantillon de talc cristallin de la carrière de Trimouns

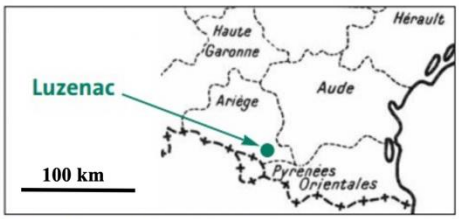
© Didier Descouens

À partir des documents présentant le gisement de Trimouns et des documents de référence, expliquer comment et quand le gisement de talc de Trimouns s'est formé. de votre choix pour. Votre réponse devra être argumentée et exposer la chronologie des principaux événements en la resituant dans l'histoire géologique de la région.

Document 1 - La carrière de talc de Trimouns, présentation géographique et géologique

Situé à 1 700 m d'altitude environ, à 130 km à vol d'oiseau de Toulouse dans les Pyrénées arigeoises, près du village de Luzenac, le gisement de Trimouns est exploité à ciel ouvert depuis le milieu du 19e siècle. C'est un des plus vastes gisements de talc au monde : il a déjà produit environ 20 millions de tonnes de talc marchand (430 000 tonnes de talc sont extraites par an avec de nombreuses applications telles que papier, cosmétique et pharmacie, céramique, épuration des eaux usées…) et les réserves sont estimées à 10 millions de tonnes.
La couche de talc est localisée en bordure Est du Massif de Saint Barthélemy. **Le gisement se caractérise par des niveaux de talc très blancs et purs**





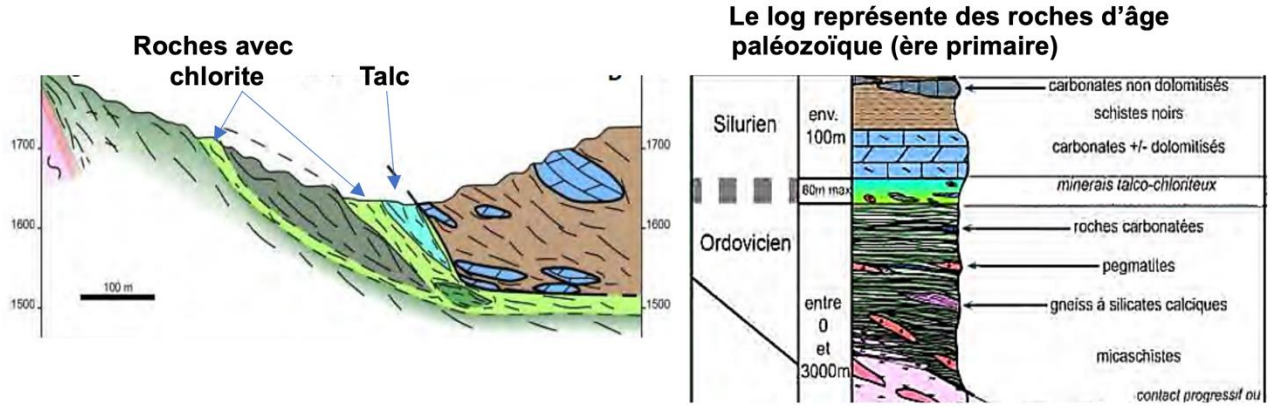
Localisation du village de Luzenac

Source : Géologues n°155, p. 99

Vue aérienne de la carrière de Trimouns

D'après http://www.lasim.org et « Le gisement de talc de Luzenac : un géant de taille mondiale », Géologues n°155, p. 99-105, 2007

Document 2 – Coupe du gisement et détail du log correspondant à la coupe avec légende



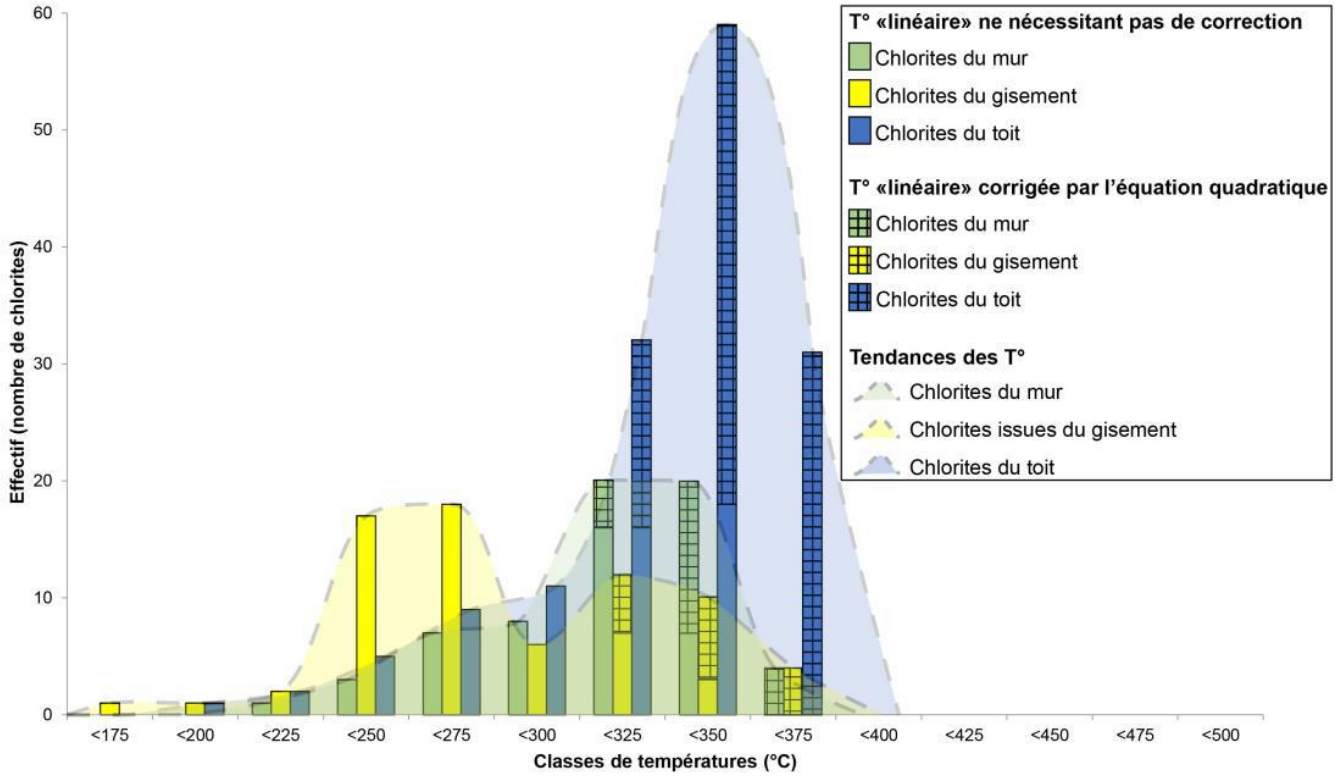
Extrait de la thèse d'Alexandre Boutin « Étude des conditions de formations du gisement de talc-chlorite de Trimouns », 2016

Les pointillés au niveau des minerais talco-chloriteux au niveau du log (▪ ▪ ▪) indiquent la position des roches qui ont donné naissance au talc.Leur transformation en talc est postérieure.

Document 3 - Datation du gisement et évaluation des températures régnant lors de sa formation

Document 3a - Géotempératures des chlorites

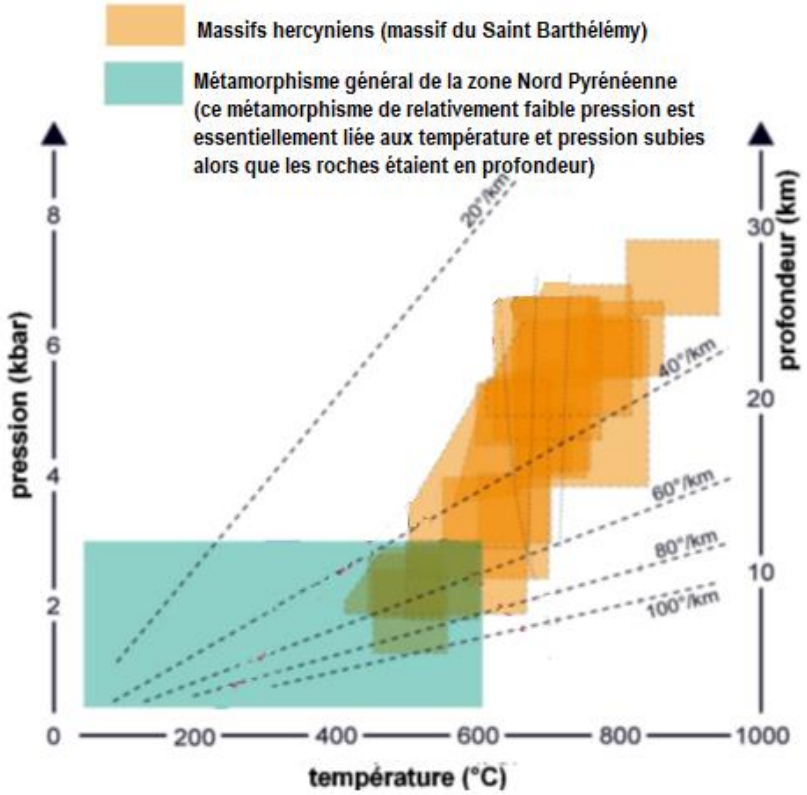
Plusieurs géothermomètres ont été développés à partir d'une analyse chimique détaillée de la composition chimique des chlorites. Le graphique ci-dessous présente la fréquence (classes modales) des températures des chlorites de Trimouns selon la technique de Bourdelle et al, 2013.
Les techniques de datation sont basées sur la décroissance radioactive.



Extrait de la thèse d'Alexandre Boutin « Étude des conditions de formations du gisement de talc-chlorite de Trimouns », 2016

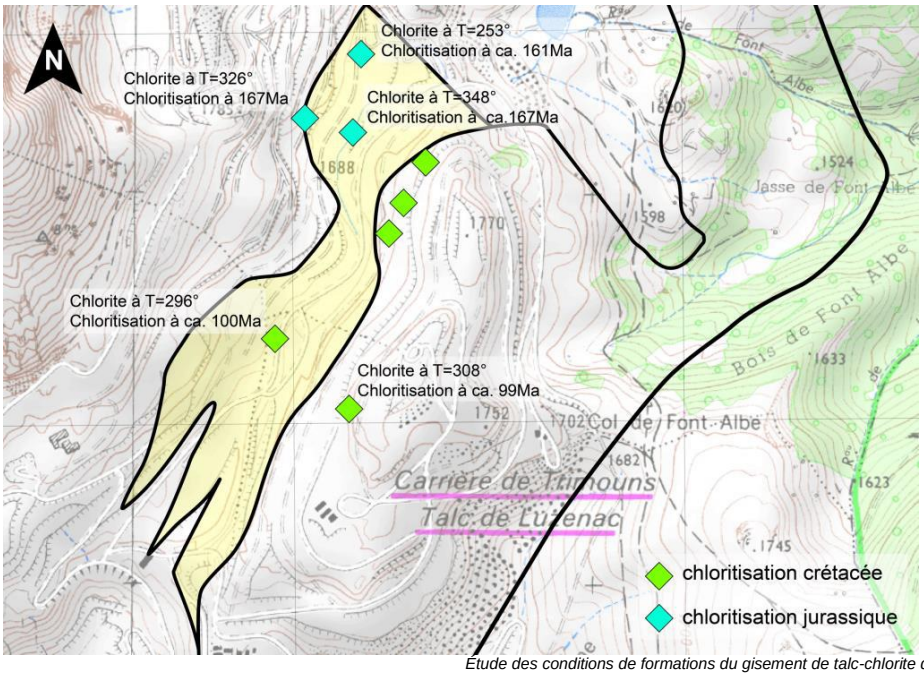
Dans un gisement on appelle le toit le sommet de la veine exploitée, le mur en est la base.

Document 3b - Pressions et températures de divers échantillons de roches



Document 3c - Datation et localisation de quelques prélèvements

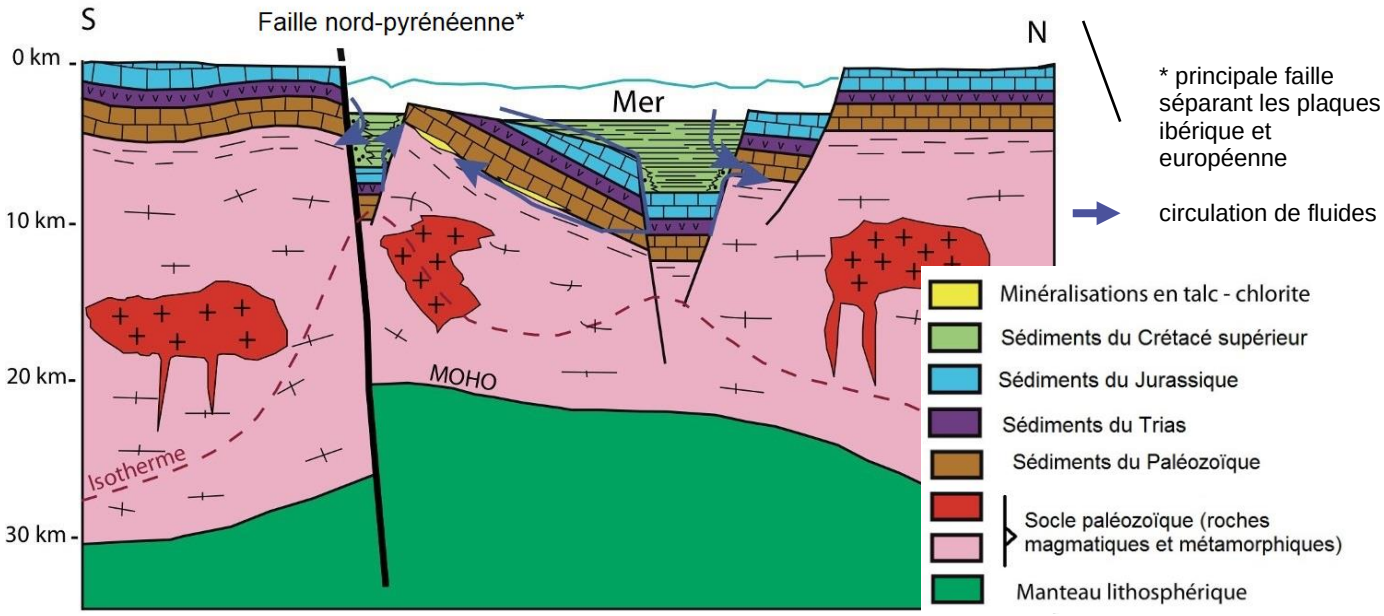
Les températures sont indiquées en °C



Étude des conditions de formations du gisement de talc-chlorite de Trimouns, Alexandre Boutin

Le gisement est situé dans la zone en jaune

Document 4 - Coupe schématique de la zone nord-pyrénéenne il y a 100 Ma



Documents de référence

A - Les conditions de formation des gisements de talc

Les gisements de talc proviennent de la transformation de roches préexistantes sous l'effet de **circulations hydrothermales**, **et avec un métamorphisme,** c'est-à-dire sous l'effet de la circulation de fluides chauds et riches en éléments minéraux qui modifient les roches. La présence de failles permet aux fluides de pénétrer la roche, ce qui facilite les réactions chimiques.

On distingue les gisements de talc selon les roches initiales. Le talc se forme notamment :

1) par l'altération hydrothermale de serpentinites en présence d'une eau riche en CO_2.
Les serpentinites sont des roches riches en serpentine, une famille de minéraux de formule générale $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH)_4$.

$$2\ Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + 3\ CO_2 \rightarrow Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 3\ MgCO_3 + 3\ H_2O$$
serpentine + **dioxyde de carbone** → **talc** + **magnésite** + eau

Le talc présent dans ce type de gisement est généralement impur, sa couleur est d'un blanc terne.

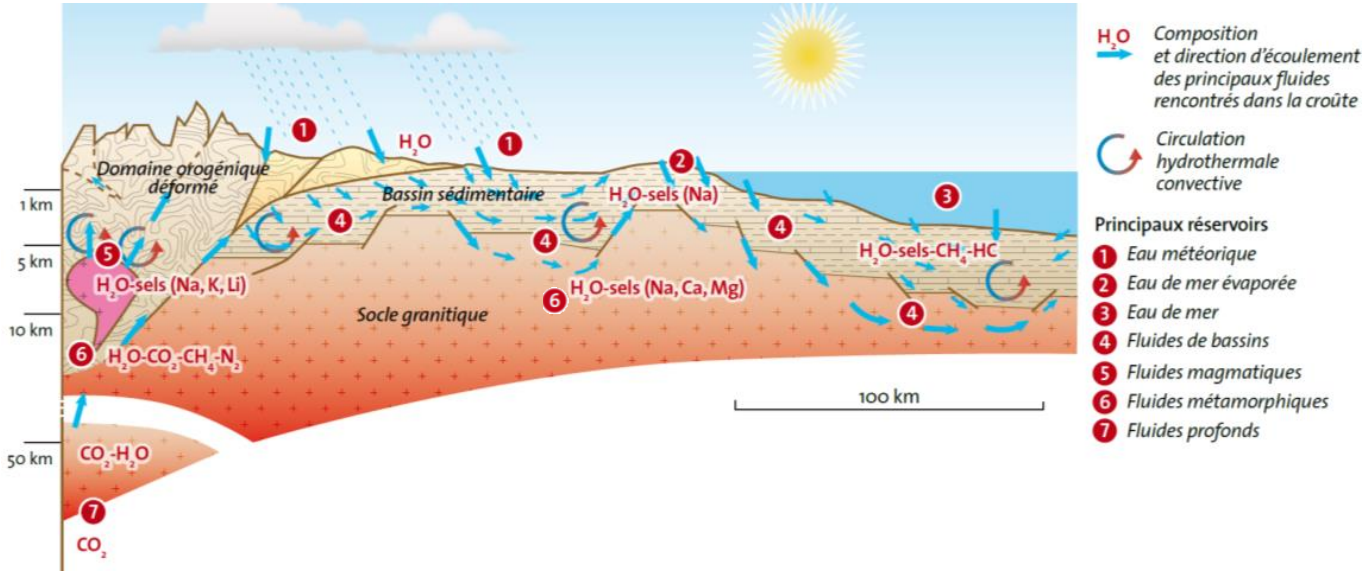
2) par l'altération hydrothermale de dolomies, ce fluide étant cette fois riche en SiO_2.
La dolomie est une roche sédimentaire carbonatée composée d'au moins 50 % de dolomite $CaMg(CO_3)_2$.

$$3\ CaMg(CO_3)_2 + 4\ SiO_2 + 6\ H^+ \rightarrow Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 3\ Ca^{2+} + 6\ CO_2 + 2\ H_2O$$
dolomite + **silice** + **hydrogène** → **talc** + **calcium** + **dioxyde de carbone** + eau

La silice est déjà présente dans la roche ou introduite par des solutions hydrothermales ayant traversé des roches riches en silice et aluminium (schistes, micaschistes, granites, gneiss, etc.). La présence d'aluminium permet en outre la formation de chlorite $[(Mg,Fe)_{10}\ Al_2\ (Si,Al)_8\ O_{20}\ (OH,F)_{16}]$.
Ces talcs figurent parmi les plus purs et les plus blancs.

Sources : http://infoterre.brgm.fr, https://www.mern.gouv.qc.ca, http://planet-terre.ens-lyon.fr

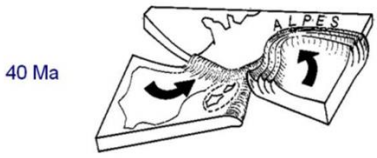
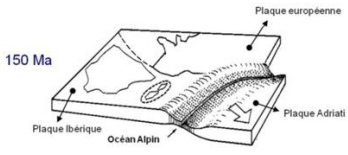
B - Les principaux réservoirs fluides, les circulations des solutions hydrothermales et leurs compositions dans la croûte terrestre



Origine des fluides	Température des fluides et pression	Composition	N° de référence sur le schéma
Bassin sédimentaire	50 à 250 °C Pression faible	Enrichi en Na^+, Ca^{2+} et Mg^{2+}	1 et 2 et 4
Magmas	350 °C à plus de 600 °C Pression faible	Enrichi en CO_2 et en ions H^+	5
Zone du métamorphisme	300 à 500 °C Pression de 2 à 5 kilos bars	Variable selon le contexte, peut être enrichi en SiO_2 et en ions H^+ ou en CO_2	6

D'après Michel Cathelineau, Marie-Christine Boiron, Johann Tuduri. Fluides et genèse des concentrations minérales. Geosciences, 2011, 13, pp.56-63.

C - L'histoire géologique des Pyrénées

Principales phases de l'histoire des Pyrénées	Âge	Schémas
Rapprochement des plaques ibérique et européenne à l'origine de la chaine actuelle.	33 à 53 millions d'années	
Mouvement entre les des plaques ibérique et européenne ouvrant des failles sous-marines profondes avec nouveaux dépôts de sédiments qui se déposèrent alors sur la vieille chaine hercynienne érodée.	200 millions d'années	
Phase de compression Plissement des terrains datés de l'Ordovicien au Carbonifère inférieur	360 à 290 millions d'années	
Dépôt des plus anciennes roches sédimentaires	500 millions d'années	

D - Échelle simplifiée des temps géologiques

Ere	Epoque/Période	Age
Quaternaire		1.75-0
Tertiaire	Pliocène	5.30-1.75
	Miocène	23.5-5.30
	Oligocène	33.7-23.5
	Eocène	65.0-33.7
	Paléocène	65.0-53
Secondaire	Crétacé	135-65.0
	Jurassique	203-135
	Trias	250-203
Primaire	Permien	295-250
	Carbonifère	355-295
	Dévonien	410-355
	Silurien	435-410
	Ordovicien	500-435
	Cambrien	540-500
Précambrien	Protérozoïque	2500-540
	Archéen	4550-2500

© Musée cantonal de géologie, Lausanne

Avec le soutien de

Flammarion

Contact presse 01 55 55 30 10

spresse@education.gouv.fr