




Les Clathrates de méthane : ressource énergétique ou géohazard ?

Les activités proposées ici peuvent être utilisées à différents niveaux dans les programmes de lycée (de la seconde à la terminale spécialité) dans la partie consacrée aux enjeux planétaires contemporains ou en EDE.

Documents à télécharger sur le site Eduterre

 Méthane.kml	 Documents à compléter.pdf	 Méthane.xls
---	---	---

Le fichier kmz se décompose en 3 grandes parties : exploration, exploitation et géohazard qui peuvent être traitées indépendamment ou non les unes des autres.

1- Exploration :

Des campagnes de recherche océaniques et continentales au niveau du cercle arctique ou dans certaines montagnes ont été menées par plusieurs pays dont l'es USA, le Japon, l'Allemagne, la Corée, la Chine, l'Inde ...

A- Exploration marine :

Il est possible de localiser l'état des découvertes effectuées par les grands programmes de recherche océanique et de proposer un environnement favorable à la formation des gisements de méthane.

- **Ouvrir** le fichier « Méthane.kmz » et **ouvrir** le dossier « exploration ».

En cliquant sur le dossier « Echantillons d'hydrate de méthane découverts dans les forages » des punaises (flammes rouges) apparaissent aux emplacements où les différents carottages ont révélés la présence de ce méthane dans le sédiment. En cliquant dessus (si la « main » de la souris se transforme en « flèche ») il est possible d'obtenir des informations sur ces échantillons, sur la campagne de recherche ou des photographies du gisement. Cliquer sur « O3-lac Baïkal » afin de voir une photo de l'échantillon récolté ; « A15 : Haakon Mosby Mud Volcano » afin de voir une photo du gisement « P2-Costa Rica » afin de télécharger les documents scientifiques relatifs à cette exploration (offre un aperçût plus global de l'étendu du travail effectué sur un forage) ou d'une manière plus simple en cliquant sur « A6 : Golfe du Mexique ». En cliquant sur le dossier « Gisements supposés (basé sur des données sismiques) » les punaises (flocons) localisent les gisements probables détectés sur les profils sismiques par la présence d'une BSR bien visible.

- **Localiser** sur un planisphère les gisements observés et probables.
- **Tirer** une conclusion sur les endroits où le méthane forme des gisements ?
- **Rappeler** les indices observables permettant de dire que du méthane est présent dans le sédiment.

Rq : dans le cadre du programme de 1^{ère} S il est possible de coupler ce Kmz avec celui proposé par Eduterre « Divergence.kmz » afin d'obtenir une carte des frontières des plaques et de pouvoir affiner la définition des zones de gisement.

B- Exploration sur les continents :

- **Ouvrir** le dossier « Exemple de gisements continentaux » puis « quelques sites continentaux en cours d'exploration ».
- **Localiser** les gisements en Alaska, en Sibérie et en Chine ; quelle relation y a-t-il entre ces différents sites pourquoi contiennent ils des gisements de méthane ?

- **Ouvrir** le dossier « permafrost-pergélisol ». Pour une meilleure lecture du doc. **ouvrir** toutes les dichotomies et **décocher** Ruggedness et PFI, **refermer** ensuite les dichotomies avant de **cliquer** sur Permafrost-pergélisol afin d'obtenir un complément d'information.
- **Relier** ce type de gisements continentaux à la présence de pergélisol.
- **Ouvrir** le premier lien pour observer ce qu'est un pergélisol en plaine côtière.
- **Ouvrir** le second lien pour comprendre les effets des reliefs.
- **Relier** ces informations aux sites en cours d'exploration et suggérer d'autres endroits potentiellement explorables.

C- Gisements sur la marge passive Atlantique.

- **Ouvrir** le dossier « Exemples de campagne de recherche en mer », puis le dossier « campagne ODP 164, Blake plateau » en cliquant sur le nom du dossier, il est possible d'accéder à quelques informations et à quelques photo du site.

Ce dossier contient plusieurs activités possibles dont certaines qui sont basées sur le même type de travail mais à des endroits différents (ex dossier CRH1et2 est équivalent à BHR), l'activité CFD est à faire après l'une des précédentes et BRD1 à la fin. Ils regroupent des résultats de forages ou/et les données des profils sismiques qui vont permettre de comprendre la structure du gisement.

1- Proposition d'activité pour le dossier CRH 1 et 2.

Le profil sismique réalisé par le bateau de recherche sur le trajet « ligne 41 » montre l'apparition de plusieurs réflecteurs dans le sédiment. On cherche à vérifier que ce réflecteur correspond bien à la BSR et qu'en forant là où il est présent on trouvera un gisement de méthane. Les données sismiques sont consignées dans le dossier « isobathes et limites probables de la BSR » les emplacements prévus des forages correspondent aux différentes punaises.

Réaliser les activités suivantes, compléter le document et proposer les résultats attendus de ces carottages.

- **Ouvrir** le dossier « CRH 1 et 2 » et cliquer sur la ligne « profil CRH1-2 ligne 41 » pour faire apparaître le profil bathymétrique de cette ligne en bas de l'écran ; il vous aidera à vous repérer sur votre document papier.
- **Localiser** l'emplacement des 2 forages sur le document par une flèche légendée.
- **Dessiner** en respectant l'échelle d'un trait vertical au crayon, l'emplacement et la profondeur de la carotte récoltée de chaque forage.
- **Ouvrir** le dossier « isobathes et limites probables de la BSR » et en cliquant successivement sur chaque ligne isobathe **faire apparaître** sa profondeur dans le sédiment.
- La **représenter** à ses coordonnées sur le graphique.
- **Relier** ces points et **dessiner** la surface de la BSR en rouge.
- Sur les traits des carottages **colorier** en rouge la zone contenant des hydrates de méthane et en vert celle où on peu s'attendre à observer du gaz libre.

2- Proposition d'activité pour les dossiers CFD et BRD1.

Le dossier CFD regroupe les données mises en évidence par sismique. 12 points ont été repérés certains correspondent à des forages superficiels du sédiment, d'autres indiquent la présence du réflecteur BSR et sa profondeur probable. On cherche à localiser les hydrates de méthane et d'en déterminer les gisements.

- **Ouvrir** le dossier et cocher tous les éléments, à l'aide des informations recueillies sur chaque site.
- **Représenter** sous forme d'un trait rouge la BSR où elle a été observée.
- Certains sites montrent des remontés de méthane à la surface du sédiment (suintement)
- **Proposer** une explication à ce phénomène.

- **Cliquer** sur ligne 19' et faire apparaître son profil d'élévation, **comparer** celui-ci à celui que vous avez complété. Quelle structure géologique peut-on mettre en évidence.
- Centrer l'écran sur cette structure, dans la barre d'outil « Ajouter », **cliquer** sur polygone et sans fermer la fenêtre (en la déplaçant seulement si elle gêne) et en sélectionnant dans l'onglet « altitude » « au niveau du fond marin »,
- **Délimiter** la surface de cette structure en prenant soin qu'elle couvre la zone concernée.

Remarque:

- il est possible de s'aider en passant la souris sur le fond marin afin d'observer les variations bathymétriques (valeurs d'élévation à côté des coordonnées GPS).
- il est possible de modifier la surface représentée même une fois validée, dans le menu de gauche, pointer le polygone et faire un clic droit, dans la fenêtre cliquer sur propriété afin de rouvrir la fenêtre de réglage, puis il est possible de déplacer les points (rouges) du polygone pour le modifier.

Certains carottages ont mis en évidence la présence de sel dans le sédiment, hors le sel se dépose généralement lorsque l'eau est peu profonde au moment de l'ouverture de l'océan par exemple. C'est un des premiers sédiments à se déposer dans le rift donc sur le fond qui diverge.

- Sachant que le sel est un « sédiment » assez instable, **proposer** une explication sur l'origine de la structure mises en évidence ici et sur les effets de sa mise en place sur le gisement de méthane.
- **Ouvrir** le dossier « BRD1 » à l'aide des fonctionnalités du logiciel (trajet, polygone), **montrer** que ce site correspond aussi à une structure identique à celle du site CFD.

D. Gisements sur les marges actives.

Des signes assez impressionnants de présence de méthane : des plumes ou panaches, ont été observés au large de l'île de Vancouver, on cherche à comprendre comment s'organisent les gisements de méthane dans ce genre de marge tectoniquement instable afin de savoir si ce sont des causes naturelles (physico-chimiques, océanologiques ou géodynamiques) qui sont responsables de ces plumes.

- **Ouvrir** le fichier « Campagne ODP 889/890 Cascadian margin » puis le fichier « signes de la présence de méthane dans les sédiments »
- **Zoomer** suffisamment (altitude env. 1km) sur les punaises bleues de Clayoquot spot, en cliquant dessus des informations vous indiquent l'importance de ces émissions de méthane.
- **Tracer** un trajet passant par les plumes entre la côte et la plaine abyssale, faire « afficher le profil d'élévation » (altitude : au niveau du fond marin), en se déplaçant sur le profil d'élévation et en maintenant enfoncé le « clic gauche » souligner sur le profil la zone concernée par les émanations de méthane (la zone sera colorée en rouge).
- **Copier** le profil (imprime écran) puis le **coller** dans un document « Paint »,
- Après mise en forme **représenter** les panaches de méthane sur le profil en respectant les altitudes,
- **Tracer** le niveau de la mer afin d'apprécier l'importance de ces plumes.
- **Ouvrir** le dossier « Température de l'eau sur le fond », **cliquer** au niveau des plumes sur la couleur correspondante afin de connaître la température de l'eau à cet endroit, la **noter** ainsi que la profondeur du fond.
- **Ouvrir** le dossier « méthane.xls » dans l'onglet « évolution pression profondeur » et **rechercher** quelle est la pression aux profondeurs où les plumes apparaissent.
- Dans l'onglet « limite de stabilité » **rechercher** si à la profondeur (pression) / température où les plumes prennent naissance les hydrates de méthanes sont stables ou non.
- Les onglets « agitation de l'océan_CH4 », « intensité des séismes_CH4 » et « intensité des marées_CH4 » montrent l'évolution de ces 3 paramètres du mois de juin 2012 au début novembre 2012 mis en relation avec les émissions de gaz au niveau des plumes, **rechercher** quel paramètre semble le plus affecter les émissions de méthane.

Remarque : cette activité est fondée sur les travaux de Römer, qui conclue après la compilation d'une année de prise de mesures sur ce site, que la seule corrélation possible avec un phénomène extérieur est

celle qui relie les émissions de gaz et les cycles des marées. Elle montre que la sortie des gaz est déclenchée à marée basse quand la pression de l'océan sur le fond de la mer est la plus basse. Le gaz libre s'accumule dans des réservoirs intra sédimentaires pendant la marée haute et s'échappe ensuite quand la pression de l'eau diminue au dessous d'un certain seuil (données disponibles sur <http://www.oceannetworks.ca/secret-lives-submarine-gas-flares>). Les données de coefficients de marées sont issues de la station Tatoosh island accessible sur le kml téléchargeable à partir du site <http://www.justmagic.com/GM-GE.html>.

Une étude de la disposition des sédiments dans ce type de marge a été effectuée grâce aux carottages effectués par la mission ODP 889-890, les données sont consignées dans le dossier « Résultats des carottages », la ligne 8908 correspond au profil bathymétrique du document à compléter.

- **Situer** l'emplacement de chaque carottage sur le graphique, à l'aide des informations recueillies dans les commentaires et sur les pages des liens proposés, **rechercher** la profondeur et la disposition des BSR avant de la représenter par un trait rouge sur le profil.
- A l'aide de vos connaissances (activité ODP 164, Blake Plateau) **trouver** les arguments permettant de conclure que la structure observable au niveau du forage 1326A à une origine différente à un diapir de sel.
- Quelle remarque peut on faire sur la disposition de la BSR et l'organisation des dépôts de sédiments en général dans une zone de subduction ; en particulier peut on dire que les accumulations de méthane sont liés à la stratification où que leur mode de gisement est lié à un autre phénomène.

2. Exploitation des hydrates de méthane.

L'Alaska s'est révélé un site favorable à l'exploitation car non seulement le méthane est présent dans le permafrost et les sédiments côtiers, les sédiments sont grossiers et offre une perméabilité favorable à l'extraction du méthane. On cherche ici à trouver un site favorable à un forage à grande échelle et à comprendre les problèmes que devront résoudre les exploitants pour transporter le gaz jusqu'à la civilisation.

- **Ouvrir** le dossier "Champs gaziers et pétrolifères de Prudhoe Bay" et **zoomer** sur les différents liens afin d'observer les systèmes d'exploitation actuellement utilisés pour des hydrocarbures conventionnels (pétrole) et les dégâts que cause cette exploitation sur l'environnement.
- **Ouvrir** le dossier "Gisement de méthane de Prudhoe Bay" afin d'avoir accès aux diverses données concernant le site d'exploitation testé d'Ignik Sikumi, la profondeur du permafrost, celle de la profondeur de la zone de stabilité des hydrates de méthane (la profondeur du toit et celle de la base).
- **Cliquer** sur transect dans le permafrost et **faire** apparaître le profil d'élévation correspondant au graphique,
- **Situer** sur le graphique l'emplacement du forage du test d'exploitation Ignik Sikumi ainsi que par un trait vertical la profondeur atteinte.
- En ouvrant successivement les différents dossiers, **représenter** sur le graphique la limite inférieure du permafrost, la base de stabilité des hydrates de méthane et le toit de la zone de stabilité de ces mêmes hydrates.
- **Colorer** la zone où les hydrates de méthane sont stables. **Justifier** de la pertinence de l'emplacement du forage d'Ignik Sikumi
- **Ouvrir** le dossier "pipelines", **observer** le trajet du futur gazoduc ASAP, **justifier** de la pertinence de l'emplacement du forage Ignik Sikumi et des installations de compression du gaz du site de Prudhoe Bay et du choix de l'emplacement du terminal où aboutira la production de gaz.

3. Géohazard

A- Des risques liés à l'exploitation du méthane :

1 – Explosion de plate-forme de forage et pollution des eaux :

En 2012, la plateforme "Deepwater horizon" a provoqué, non seulement, une importante marée noire dans le golf du Mexique mais aussi une très forte déstabilisation du sous sol libérant de gigantesques quantité de méthane dans l'eau, on cherche à voir les effets sur l'environnement :

- **Ouvrir** le dossier "Exploitation dans le Golf du Mexique" des informations et des images sont disponibles en cliquant sur la fenêtre. De dossier MC252 informe sur la quantité de méthane qui a pu constituer une pollution marine.
- En cliquant sur le dossier " effet à la surface " il est possible de suivre le parcours de la marée noire pendant les semaines qui ont suivies, les légendes sont accessibles en cliquant sur les éléments superposés. **Justifier** que la marée noire va se déplacer avec les courants superficiels et rejoindre l'Atlantique.

Des travaux ont été menés pour comprendre l'impact de ce rejet de méthane dans la colonne d'eau sur les écosystèmes plus profonds.

- **Ouvrir** le dossier "effet en profondeur" **cliquer** sur les deux dossiers afin d'observer l'emplacement des anomalies de la concentration en O₂ mesurée (cliquer sur chaque courbe pour connaître la concentration mesurée), **justifier** que le courant de surface n'est pas responsable du brassage de l'eau au fond,
- **Ouvrir** le fichier "Methane.xls" puis la feuille "GM O₂",
- **Réaliser** une courbe à partir des données du premier tableau afin de comparer l'évolution de la concentration en dioxygène en fonction de la profondeur dans le site de référence et au niveau du forage.
- **Réaliser** un 2^{ème} graphique à l'aide des données du 2^{ème} tableau afin de mettre en évidence l'action des bactéries dégradant le méthane,
- **Réaliser** un 3^{ème} graphique à partir des données du dernier tableau afin de mettre en relation la concentration en méthane et en dioxygène de l'eau.
- **Justifier** que ces données montre que l'absence de dioxygène à certaine profondeur est susceptible d'induire de grave perturbation de l'environnement pélagique.

b- Rupture de pipeline :

Transporter du pétrole ou du gaz sur plus de 1000 km n'est pas sans risque pour l'environnement :

- **Ouvrir** les dossiers "Taps" et "ASAP" afin **d'observer** le trajet des pipelines de gaz et de pétrole traversant l'Alaska puis **ouvrir dans** le dossier "géohazard" le dossier "risques liés à l'exploitation" puis le dossier "rupture de pipeline" afin de connaître le "contexte géologique" de la région.
- **Lister** les risques liés à la construction et à l'exploitation de ces pipelines dans cette région.
- **Proposer** des arguments utilisables par les "anti construction du gazoduc" pour **justifier** d'un autre trajet.

2- Des risques liés aux instabilités des sédiments riches en méthane.

a- Storegga slide :

Il y a 8200 ans un formidable raz de marée à été provoqué par une déstabilisation des sédiments du talus au large des côtes de Norvège. Cette déstabilisation des sédiments méthanifères est liée au réajustement isostatique et au réchauffement des eaux baignant les sédiments, suite à la dernière déglaciation. Les hydrates de méthanes ont, selon les spécialistes, induit par dégazage massif la décohésion des sédiments du bord du talus, générant une ou plusieurs loupes de glissement qui a dévalé dans la plaine abyssale. Le déplacement de la masse de sédiment et d'eau a conduit à un gigantesque tsunami dont les traces sont observables sur les côtes de la Mer de Norvège.

- **Ouvrir** le dossier "Risques liés à des instabilités du sédiment/glissement de terrain/Storegga slide" Cliquer sur le lien Storegga slide pour **observer** l'étendue du glissement de terrain avant de le décliquer pour voir la cicatrice encore visible sur le fond marin.
- A l'aide de l'outil " Règle" **mesurer** la longueur maximale de ce glissement de terrain,
- **Ouvrir** le dossier " Tsunamites " afin d'observer les effets de ce glissement de terrain sur la genèse d'un tsunami? La hauteur atteinte par la vague est matérialisé par les niveaux de tsunamites sédimentés sur les diverses côtes touchées.
- Sur la carte de la Mer de Norvège **colorier** les côtes touchées en conservant le même code couleur, **légender**.
- **Ouvrir** le dossier "densité de population 2000 "qui contient des données de la NASA sur la population globale en 2000 et évaluer les effets du tsunami s'il avait eut lieu actuellement,

b- Séisme de Tohoku.

Le séisme du 11 mars 2011 au large des côtes du japon a fait de nombreux dégâts, une étude montre que l'impact probable de la vague du tsunami associée aux mouvements des compartiments dans le prisme d'accrétion sont responsables de la déstabilisation des hydrates de méthane peu concentrés dans cette zone. On peut donc s'interroger sur les effets de ce tsunami dans les gisements riches en méthane en cours d'exploitation de MH21 ou sur de futurs gros séismes dans la fosse de Nankai.

- **Ouvrir** le dossier "Tsunami" puis "Séisme de Tohoku", enfin les "données du séisme" afin de localiser d'une part l'épicentre et d'autre part, les données compilées par NOAA sur l'élévation du niveau de la mer après le tremblement de terre.
- **Ouvrir** les "données géologiques" pour situer les failles du prisme et la fosse.
- **Ouvrir** dans le dossier "recherche effectuée" les emplacements des différents prélèvements faits dans la zone. Les prélèvements sont, notamment, des dosages de méthane dans la colonne d'eau, du fond jusqu'à 800m au dessus des sédiments, les mesures sont consignées dans le fichier "Méthane.xls" feuille Tohoku.
- A l'aide des fonctionnalités du logiciel, **afficher** le profil d'élévation qui correspond au document à compléter.
- **Compléter** ce profil en situant précisément les sites de prélèvement, les failles dans le sédiment en prenant soin de les prolonger en profondeur (en suivant les données accessibles en cliquant sur les limites des failles).
- **Indiquer** par des flèches le mouvement des compartiments les uns par rapport aux autres.
- A l'aide des informations contenues dans le fichier Excel, **rechercher** l'origine du méthane émanant de chaque site et la **situer** sur le profil.
- Sachant que près de l'épicentre les sédiments n'ont pas été définis comme étant riches en méthane et exploitables et que les suintements de méthane sont observables pendant plusieurs semaines, **argumenter** les effets possibles d'un Tsunami dans les zones de gisements exploités (cliquer sur exploitation/japon pour les localiser).