

## Ressource des océans : les hydrates de gaz

### Chapitre 8

Pour résoudre la crise énergétique, des sources en hydrocarbures sont explorées telles que les hydrates de gaz. Les hydrates de méthane sont-ils une réserve énergétique pour l'avenir ou constituent-ils un danger pour le climat ?

#### **Document 1 - L'hydrate de méthane ou « la glace qui brûle » : une nouvelle énergie propre ?**

Les hydrates de gaz naturel ont l'apparence et la consistance de la glace. Ce sont des molécules de gaz (comme le méthane) entourées par un réseau de molécules d'eau disposées en cage - d'où le nom de clathrate, du latin clatrus, encapsulé, aussi donné à l'hydrate.

Dans la nature, ils sont stables dans certaines conditions de température et de pression. De très grandes quantités de gaz peuvent être stockées sous forme d'hydrates. Un volume unitaire d'hydrate peut ainsi emmagasiner (ou libérer) 160 volumes de méthane durant sa formation (ou sa décomposition).

Ces poches de gaz constituent un fabuleux trésor énergétique, deux fois l'équivalent de méthane des réserves prouvées de charbon, pétrole et gaz réunis.

Le service géologique américain (USGS) a en effet récemment estimé à 20 millions de km<sup>3</sup> la quantité de méthane présente sous forme d'hydrate dans les fonds marins et les sols gelés arctiques.

Cette estimation demande toutefois à être confrontée à des observations de terrain encore trop limitées. Et avant toute idée d'exploitation, il est important de mieux déterminer la répartition et le comportement de ces hydrates. .

Utiliser l'hydrate de méthane comme source d'énergie est aussi très avantageux car tous les continents en seraient pourvus. Rien qu'en Europe, trois réserves sont déjà identifiées : dans le Golfe de Cadix, en Mer Noire et en mer de Norvège. Bien que l'extraction de l'hydrate de méthane soit encore difficile, les chiffres sont très encourageants : d'après Total, un mètre cube de « glace qui brûle » renferme jusqu'à 160 m<sup>3</sup> de méthane.

Sources : <http://www.vivez-nature.com/agriculture-biologique/hydrate-methane-glace-qui-brule.html>

[http://www.ifremer.fr/grands\\_fonds/Les-enjeux/Les-applications/Ressources-energetiques/Les-hydrates-de-gaz](http://www.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-applications/Ressources-energetiques/Les-hydrates-de-gaz)

#### **Document 2 – Les hydrates de méthane**



a – Aspect au sein des sédiments

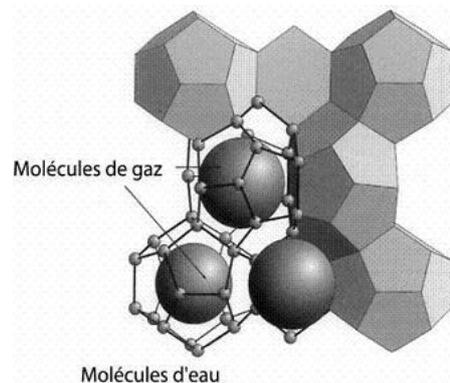
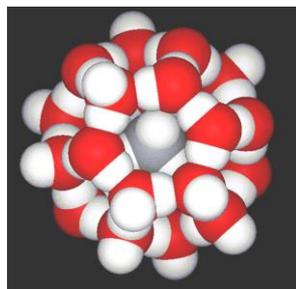
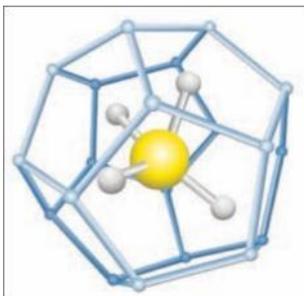
b – De la glace qui brûle...

Source : <http://www.fermedesetoiles.com/supports/petites-histoires-et-grandes-theories-une-nouvelle-vision-de-la-terre.pdf>

#### **Document 3 – Structure d'un hydrate de méthane**

Plusieurs types de structures moléculaires ont été identifiées : les structures I, II ou H. Dans la structure I, la plus courante dans la nature, la maille élémentaire est composée de 46 molécules d'eau et peut contenir jusqu'à 8 molécules de méthane.

Si le gaz retenu prisonnier est du méthane, ce dernier représente à peu près 20% de l'ensemble en poids.



Exemple de structure d'un hydrate de méthane (CH<sub>4</sub>) de type I

Structure d'hydrate de gaz de type I (d'après Suess, 2002)

Sources : [http://culturesciences.chimie.ens.fr/nodeimages/images/Chimie\\_Mer\\_Chap3Partie2.pdf](http://culturesciences.chimie.ens.fr/nodeimages/images/Chimie_Mer_Chap3Partie2.pdf)

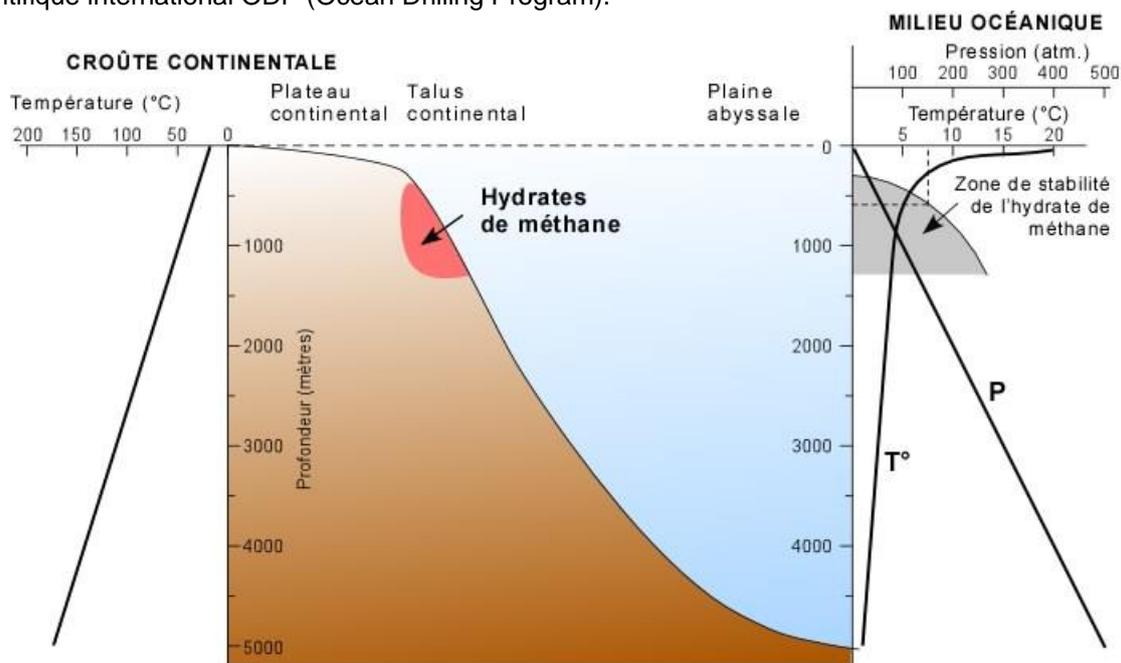
<http://www.manicore.com/documentation/serre/hydrates.html>

#### Document 4 – Origine et stabilité des hydrates de méthane

Une importante quantité de matière organique qui se dépose sur les fonds océaniques est incorporée dans les sédiments. Sous l'action des bactéries anaérobies, ces matières organiques se transforment en méthane dans les premières centaines de mètres de la pile sédimentaire. Un volume très important de méthane est ainsi produit. Une partie de ce méthane se combine aux molécules d'eau pour former l'hydrate de méthane, dans une fourchette bien définie de température et de pression (partie droite du schéma ci-dessous). [...]

La formation et la conservation d'hydrates de gaz dans les sédiments marins exigent des pressions élevées et des températures basses. Ces conditions, pour les marges continentales situées à moyenne ou basse latitude, comme c'est le cas pour la marge atlantique de l'Europe ou de l'Afrique, sont celles de l'offshore profond (au-delà de 300 mètres de profondeur d'eau).

La zone de stabilité des hydrates s'étend du fond de la mer à une profondeur maximale dans les sédiments qui est dictée principalement par les conditions de température ambiantes. Au-delà de cette profondeur, la température est trop élevée. En pratique, les hydrates de gaz sont presque toujours rencontrés dans les 500 premiers mètres sédimentaires sous le fond de la mer. Ils ont été mis en évidence lors de nombreux forages du programme de forage scientifique international ODP (Ocean Drilling Program).



Dans la zone en gris (schéma à droite), eau et méthane se combinent pour former un hydrate à l'état solide dit glace, alors qu'à l'extérieur de cette zone, les deux composés sont séparés et se trouvent sous leur propre état, liquide et gaz. C'est dire que l'hydrate de méthane est stable sous les conditions de température et de pression exprimées par la zone en gris, et instable sous les conditions à l'extérieur de cette zone. [...]

Sources : [http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete\\_terre.html](http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html)

[http://wwz.ifremer.fr/grands\\_fonds/Les-enjeux/Les-applications/Ressources-energetiques/Les-hydrates-de-gaz](http://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-applications/Ressources-energetiques/Les-hydrates-de-gaz)

#### Document 5 – Déstabilisation thermique des hydrates de gaz.

En libérant de grands quantités de méthane, un gaz à fort effet de serre, la déstabilisation des hydrates de gaz présents dans les sédiments marins pourrait jouer un rôle fondamental dans les changements climatiques globaux.

On a en effet noté que toutes les périodes de réchauffement climatique depuis 60 000 ans ont été marquées par des teneurs atmosphériques en méthane élevées.

Or le mécanisme "début de réchauffement - déstabilisation thermique des hydrates - libération de méthane" a bien pour effet une accélération du réchauffement.

La fragilisation des fonds, suite à une déstabilisation thermique des hydrates, est susceptible d'entraîner des glissements de terrain et constitue donc un danger pour les installations pétrolières de forage, de production ou de transport (pipes, gazoducs, ...).

On a constaté que lors du réchauffement climatique qui a suivi les dernières glaciations, la déstabilisation des hydrates de gaz présents dans les sédiments des pentes continentales a probablement été à l'origine de grands glissements de terrain, tel il y a 8000 ans, l'avalanche sous-marine de Storegga, au large de la Norvège.

Ces glissements de terrain peuvent être à l'origine de tsunamis (raz-de-marée) dévastateurs.

Source : [http://wwz.ifremer.fr/grands\\_fonds/Les-enjeux/Les-applications/Ressources-energetiques/Les-hydrates-de-gaz](http://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-applications/Ressources-energetiques/Les-hydrates-de-gaz)

## Questions :

- 1) a). Ecrire la formule développée du méthane puis celle de l'eau. Ces moléculaires sont-elles polaires ? Justifier la réponse.  
b) Quel type de liaisons s'établit entre les molécules d'eau ? Entre les molécules d'eau et de méthane ? Justifier les réponses.
- 2) a) A partir du document 3, évaluer le nombre moyen de molécules d'eau associées à une molécule de méthane dans un hydrate de méthane.  
b) Que signifie, dans le document 1, que « un mètre cube de « glace qui brûle » renferme jusqu'à 160 m<sup>3</sup> de méthane » ? Calculer la quantité de matière de méthane contenu dans 1,0 m<sup>3</sup> d'hydrates de méthane. Calculer également la quantité de matière d'eau contenue dans 1,0 m<sup>3</sup> d'eau glacée. En déduire le nombre de moles d'eau entourant une mole de méthane dans un hydrate de méthane.
- 2) c) Justifier de deux façons la différence entre les deux résultats des deux questions précédentes.
- 3) Quelles sont les grandeurs physiques qui conditionnent la stabilité des hydrates de gaz ? Donner un exemple où c'est stable.
- 4) a) Un hydrate de méthane qui se trouve dans les sédiments océaniques par 600 mètres de fond à 7,5°C, par exemple, est juste stable (en pointillés sur le document 4). Que se passe-t-il si la température augmente de 1°C ?  
b) Qu'en déduire dans le cas d'un hypothétique réchauffement climatique ?  
c) Si la température d'un hydrate de méthane augmente, comment doit évoluer la pression pour que cet hydrate de méthane reste stable ? S'aider du schéma du document 4 pour répondre à la question.  
d) Pourquoi un échantillon d'hydrate de gaz se trouvant dans les sédiments océaniques à une profondeur de 500 m et ramené directement à la surface s'enflamme-t-il au contact d'une allumette comme le montre la photo du document 2 ? Ecrire l'équation de la réaction qui se produit.

## 5) Synthèse de documents :

Quelles sont les conséquences pour l'homme sur Terre de la présence de « glace qui brûle » dans les sédiments ? Vous donnerez votre avis en une quinzaine de lignes argumentées.

## **Données :**

*Electronégativité de quelques éléments chimiques : H (2,2) ; C (2,5) ; O (3,4).*

*Masses molaires atomiques :  $M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$ .*

*Densité de la glace:  $d = 1$  environ aux profondeurs de l'hydrate de méthane.*

*A 20°C et à  $10^5 \text{ Pa}$ , le volume molaire  $V_m$  est égal à 25 L.mol<sup>-1</sup>.*

*Le pouvoir de gaz à effet de serre du méthane est 25 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone.*