

## CHAP 03-ACT PB/DOC La glace qui brûle

**Mots clés :** ressources minérales et organiques des océans ; hydrates de gaz

**OBJECTIFS :**

- Résolution d'un problème scientifique
- Analyse et synthèse de documents scientifiques
- Extraire une information utile.
- Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique.

## CORRIGE

### 1. LA « GLACE QUI BRULE »

On estime que le stock d'hydrate de gaz présent sur terre est gigantesque; des études sont en cours pour mettre au point des techniques d'exploitation de cet énorme réservoir d'énergie.

#### 1.1. Situation problème

Les hydrates de gaz naturel ont l'apparence et la consistance de la glace (Fig. 1). Ils sont constitués de molécules de gaz, essentiellement du méthane, entourées par un réseau de molécules d'eau disposées en cage (Fig. 2). Un hydrate de méthane est donc un mélange d'eau et de méthane, qui, sous certaines conditions de température et de pression, cristallise sous forme d'un solide. Les cages d'eau peuvent stocker une très grande quantité de gaz : à la pression atmosphérique, 1 m<sup>3</sup> d'hydrate de méthane peut libérer environ 164 m<sup>3</sup> de gaz.

#### 1.2 Analyse du problème

Dans la nature, le méthane (qui est un hydrocarbure) se forme très lentement. Il résulte de la décomposition de débris organiques (végétal ou animal) en absence de dioxygène. Cette décomposition se produit sous l'action de bactéries et se poursuit par des réactions chimiques qui dépendent de la température et de la profondeur de l'enfouissement. Le méthane naturel peut donc se former sous l'eau et sous la terre, en des endroits où les détritiques organiques peuvent être préservés du dioxygène de l'air, comme les marécages, les tourbières, les sédiments océaniques et le sous-sol.

Après sa formation, sous l'effet de la pression qui s'exerce sur lui, le méthane naturel tend à remonter vers la surface et à partir vers l'atmosphère. Si le méthane est formé dans les marécages, il repart rapidement dans l'atmosphère ; s'il est piégé par une couche imperméable, il constitue une réserve de gaz naturel et s'il est en contact avec de l'eau et que les conditions de température et de pression sont satisfaisantes, il peut alors s'associer avec cette eau et former un hydrate de méthane stable.

On peut rencontrer ce dernier processus dans le pergélisol, c'est-à-dire sous le sol gelé en permanence des régions arctiques (très basse température et faible pression) ou dans les sédiments océaniques (forte pression et basse température). Les hydrates restent alors stables tant que la température et la pression ne varient pas (Fig. 3).

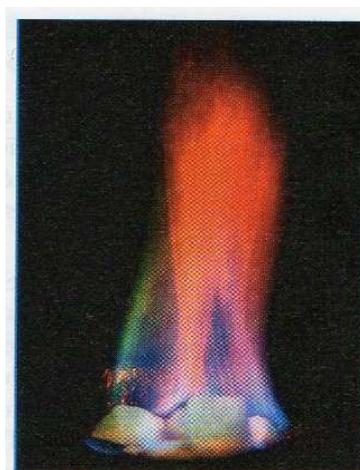


Fig. 1 Échantillon d'hydrate de gaz qui s'enflamme lorsqu'on approche une allumette.

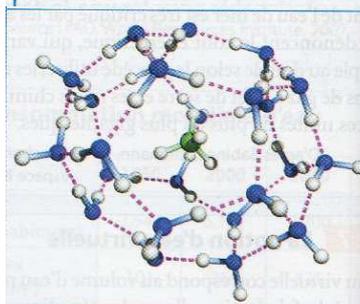


Fig. 2 Structure de l'hydrate de méthane : les molécules de méthane sont entourées par un réseau de molécules d'eau disposées en cage.

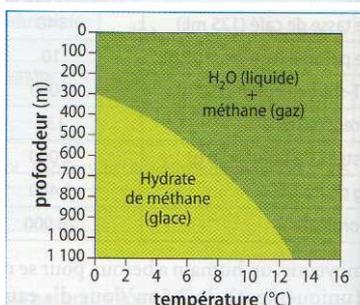
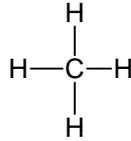


Fig. 3 Domaine de stabilité des hydrates sous les océans.

### 1.3. Questions préliminaires

1) Quelle est la formule du méthane ? Donner sa représentation de Lewis.

La formule du méthane est  $\text{CH}_4$ . Sa représentation de Lewis est la suivante :



2) Quelles sont les grandeurs physiques importantes qui conditionnent la stabilité des hydrates ?

La température et la pression (cf. graphique).

### 1.4. Question scientifique à résoudre

« La glace qui brûle » est-elle une énorme réserve de gaz inespérée pour l'avenir ou un danger redoutable pour le climat ?

#### Construction des étapes de la résolution

3) À partir de quelle pression minimale des hydrates stables peuvent-ils se former pour une température de l'eau de  $4^\circ\text{C}$  ? Donner le résultat dans le système international d'unités.

**Donnée.** La pression atmosphérique au niveau de la mer est de 1 atm.

D'après le graphique, pour une température de  $4^\circ\text{C}$ , les hydrates stables commencent à apparaître à une profondeur d'environ 450 m.

La pression hydrostatique augmente avec la profondeur ; dans le cas de l'eau, elle augmente environ de 1 bar tous les 10 m.

Dans le SI, la pression s'exprime en pascal (Pa).

$1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ , soit  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  (avec 1 cs)

donc  $1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$ .

Donc la pression absolue à 450 m sera de :

$P_{\text{absolue}} = P_{\text{hydrostatique}} + P_{\text{atm}} = 45 + 1 = 46 \text{ bar} = 46 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

4) À 800 m de profondeur, peut-on trouver des hydrates stables dans une eau à  $10^\circ\text{C}$  ? à  $11^\circ\text{C}$  ? Conclure.

À 800 m de profondeur, les hydrates sont stables à  $10^\circ\text{C}$  (domaine vert clair), à  $11^\circ\text{C}$  ils se décomposent en eau et méthane (vert foncé). Un écart de  $1^\circ\text{C}$  à peine provoque la décomposition des hydrates en gaz et en eau.

5) On trouve des hydrates de gaz stables dans les sédiments océaniques. Sachant que la densité des hydrates de gaz est plus faible que celle de l'eau, expliquer pourquoi les hydrates qui apparaissent dans l'eau ou qui s'échappent des sédiments ne peuvent pas rester en profondeur. Que se passe-t-il alors ?

Leur densité étant plus faible, ils remontent vers la surface, la profondeur diminue donc la pression aussi, ils sortent du domaine de stabilité et se décomposent en donnant du méthane et de l'eau. Une partie du méthane se dissout dans l'eau et une autre s'échappe dans l'atmosphère.

#### Mise en œuvre des étapes de la résolution

6) Pourquoi un échantillon d'hydrate de gaz se trouvant dans les sédiments océaniques, prélevé à une profondeur de 400 m et ramené directement à la surface s'enflamme-t-il au contact d'une allumette (Fig. 1) ?

Le changement brutal de température de pression provoque la dissociation de l'hydrate de méthane en eau liquide et en méthane gazeux. Le méthane est un gaz incolore (et inodore) dans les conditions de pression et de température ordinaire, et c'est un combustible, il est capable de brûler en présence de dioxygène (fourni par l'air) et d'énergie (flamme).

7) En observant la photo de la figure 1, peut-on dire que la combustion est complète ou incomplète ? Justifier la réponse.

On parle de combustion complète, lorsque les produits de la réaction de combustion sont uniquement le dioxyde de carbone (gaz incolore) et de la vapeur d'eau (incolore), dans ce cas la flamme est bleue. Si on observe la couleur de la flamme sur la photo, on constate qu'elle est jaune-orangé. Cela met en évidence la présence de particules de carbone : la combustion est donc incomplète, le dioxygène n'est pas en quantité suffisante.

8) Ecrire et équilibrer l'équation de la combustion complète du méthane, en sachant qu'il ne se forme que de l'eau et du dioxyde de carbone.



*Aujourd'hui, la communauté scientifique considère qu'une augmentation significative de la teneur en gaz à effet de serre dans l'atmosphère engendrera un changement climatique, dont deux conséquences font consensus : la température moyenne au niveau du sol augmentera et le niveau des océans va monter*

### Donnée

*Le pouvoir de gaz à effet de serre du méthane est 25 fois plus grand que celui du dioxyde de carbone*

9) Qu'est-ce qu'un gaz à effet de serre ?

C'est un gaz présent dans l'atmosphère terrestre qui intercepte les rayonnements infrarouges ( $\lambda > 800 \text{ nm}$ ) émis par la surface de la Terre. C'est-à-dire un gaz qui est transparent au rayonnement solaire, mais qui empêche le rayonnement infrarouge émis par le sol chauffé de repartir vers l'espace (effet de serre). La présence de gaz à effet de serre dans notre atmosphère est nécessaire, cela permet d'avoir une température élevée près du sol. Remarque : sans la présence de ces gaz, la température moyenne de la surface terrestre serait de  $-18 \text{ °C}$  plutôt que de  $+15 \text{ °C}$  !

10) Pourquoi la teneur en gaz à effet de serre augmente-t-elle depuis un siècle environ ?

De nombreux gaz à effet de serre sont naturels : vapeur d'eau,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ou  $\text{O}_3$ . Cependant, l'activité humaine, qui se développe de plus en plus (la population augmente), introduit aussi de nombreux gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Par exemple, la combustion de sources d'énergie fossiles (gaz, pétrole et charbon) fournit une grande quantité de  $\text{CO}_2$ .

11) A votre avis, comment va évoluer la température à la surface de notre planète dans le futur ?

Comme la teneur en gaz à effet de serre augmente, la température va augmenter.

12) Si l'Homme parvient un jour à exploiter les hydrates de gaz, pourquoi le climat pourrait-il en être encore un peu plus perturbé (Fig. 4) ?

Si on les brûle (combustion), il y aura production de  $\text{CO}_2$  supplémentaire (un gaz à effet de serre), donc il y aura une élévation de la température, ce qui provoquera des changements climatiques. De plus, l'exploitation risque aussi de provoquer accidentellement la décomposition des hydrates et une partie de méthane (qui a un énorme pouvoir à effet de serre) s'échapperait aussi vers l'atmosphère.

13) Si l'exploitation commerciale n'est pas rentable ou réalisable, pourquoi le stock d'hydrates de gaz représente-t-il quand même une menace pour le climat ?

Le réchauffement de la surface planétaire (qui est en route) risque de se propager vers le fond de l'océan et vers le pergélisol. Si la température augmente même de 1 ou 2  $^{\circ}\text{C}$ , les hydrates (qui sont en très grande quantité) sortent du domaine de stabilité (voir question 4), ils se décomposent, en libérant du méthane dans l'atmosphère.

Le méthane a un énorme pouvoir à effet de serre, donc cela engendrera une augmentation encore plus importante de la température.

### Regard critique sur la résolution

**14)** Dans les océans, quel phénomène pourrait, éventuellement, compenser l'élévation de température lors du changement climatique ?

**Si le niveau des océans augmente, la pression au fond des océans aussi, cela pourrait compenser éventuellement l'augmentation de température.**

**15)** Quelle conséquence pourrait-il avoir sur la stabilité des hydrates ?

**Peut-être qu'une partie moins importante d'hydrates se décomposerait...**

### Pour conclure

**16)** L'exploitation à grande échelle des hydrates de gaz comme source d'énergie est-elle une bonne ou une fausse bonne idée ?

**Il serait tentant de considérer le stock gigantesque d'hydrates de gaz comme une future source d'énergie, car les réserves de pétroles et de charbons s'épuisent. Mais la combustion du méthane extrait entraînera la formation de dioxyde de carbone (gaz à effet de serre), ce qui risquera d'entraîner une augmentation du réchauffement climatique déjà enclenché.**

**Ce réchauffement climatique aura pour conséquence la déstabilisation massive des hydrates et une grande quantité de méthane (gaz à fort effet de serre) sera libérée, ce qui provoquera un emballement climatique (c'est-à-dire cela accélérera encore plus le réchauffement climatique).**

**Remarques :**

**– La déstabilisation massive des hydrates pourrait aussi causer des glissements de terrain sous-marins qui entraîneraient des tsunamis très importants.**

**– En exploitant les hydrates, on risquerait aussi de les déstabiliser, cela provoquerait une libération de méthane, mais aussi des glissements de terrains.**

**Donc si un jour on les exploite, de nombreuses précautions devront être prises.**