

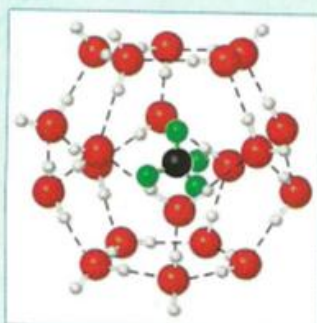
Chapitre 2- Séance 2 : Les hydrates de gaz

Mots clefs : Ressources minérales et organiques des océans
Hydrates de gaz

I - Les hydrates de méthane (ASD)

Les hydrates de méthane pourraient constituer une ressource considérable d'énergie fossile. **Quelle est la composition des hydrates de méthane et à quelles conditions se forment-ils ?**

Le 20 avril 2010, à 80 km au large des côtes de la Louisiane (États-Unis), une explosion a lieu sur la plate-forme pétrolière *Deepwater Horizon*. Elle sombre deux jours plus tard, laissant s'échapper de grandes quantités d'hydrocarbures dans l'environnement. L'exploitant tente d'arrêter la fuite de gaz et de pétrole, située à 1 500 m de profondeur, en posant une chambre de confinement afin de pomper le pétrole qui s'échappe du puits. Mais la tentative échoue, car des cristaux d'hydrates de méthane **Doc 1** s'accumulent dans la chambre de confinement, empêchant le pompage.

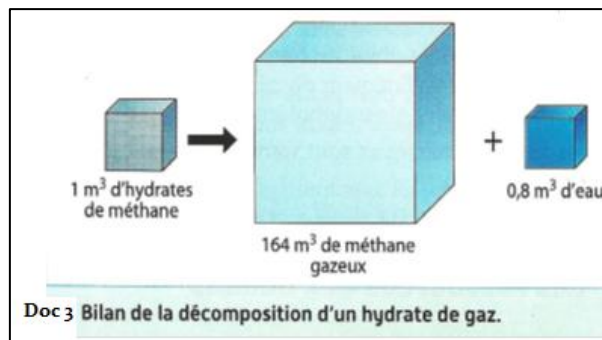


1 Structure moléculaire d'un hydrate de méthane.

Les hydrates de gaz ne sont stables que dans des conditions de température et de pression déterminées **Doc 2 et 3**. Ils existent dans les régions polaires, notamment dans le pergélisol (couche du sol gelée en permanence) et dans les fonds océaniques.

« Les hydrates de gaz sont des solides cristallins gelés, composés de molécules de gaz enveloppées d'eau. Les molécules de gaz, essentiellement le méthane, sont entourées par un réseau de molécules d'eau qui forment une cage. Ces molécules d'eau sont liées entre elles par de fortes liaisons hydrogènes, alors que les molécules de gaz piégées à l'intérieur forment avec ces molécules d'eau des liaisons de type van der Waals. »

D'après *La chimie et la mer*, EDP Sciences, coll. « L'actualité chimique livres », 2009.



Doc 3 Bilan de la décomposition d'un hydrate de gaz.

Doc 4
Electronégativité

IA		IIA		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
H 2,1				B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0
Li 1,0		Be 1,5						

Doc 2 État physique lié aux hydrates de gaz

Le diagramme de la **figure 2** montre que l'état physique des mélanges d'eau et de méthane dépend de deux paramètres : la pression et la température.

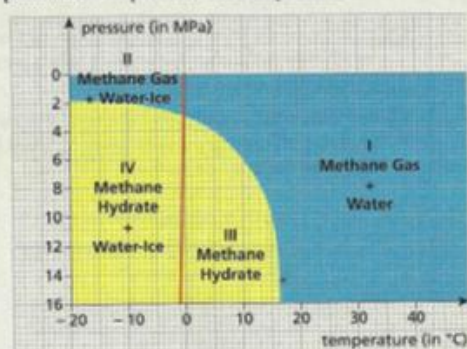


Fig. 2 Diagramme de stabilité des hydrates de méthane [1 MPa = 10⁶ Pa].

Quatre zones sont définies :
I. Eau liquide et méthane gazeux
II. Eau solide et méthane gazeux
III. Hydrate de méthane (seul).
IV. Hydrate de méthane et eau solide.

1. La pression est de 10^5 Pa au niveau de la mer et elle augmente dans l'eau de 10^5 Pa chaque fois que la profondeur augmente de 10 m. Quelles sont les valeurs de pression et de température du domaine de stabilité des hydrates de gaz dans les régions océaniques profondes ? (entre 500 et 1500 m)
2. Pourquoi des liaisons hydrogène ne se forment pas entre les molécules de méthane et les molécules d'eau ?
3. Dans les conditions standard de température et de pression (20°C et 10^5 Pa), le volume molaire d'un gaz est $V_m = 24,79 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. En déduire la quantité de matière de méthane dans 1 m^3 d'hydrate de méthane.

4. a. Calculer la quantité de matière d'eau dans 1 m^3 d'hydrate de gaz. b. Quel est le nombre moyen de molécules d'eau associée à une molécule de méthane dans les hydrates de méthane ?
5. a. Chaque molécule d'eau participe à trois cristaux d'hydrate de méthane. En déduire le nombre moyen de molécules d'eau associée à une molécule de méthane, à partir de l'examen de la structure moléculaire d'un hydrate de méthane. b. Comparer cette valeur à celle calculée à la question 4.
6. Comment expliquer la formation d'hydrates de méthane dans la chambre de confinement du puits de la plate-forme Deepwater Horizon ?

Rédiger une synthèse

7. Préciser les difficultés d'exploitation des hydrates de méthane tapis au fond des océans.

II - La « glace qui brûle » (RPS)

Compétences scientifiques évaluées

- Extraire une information utile.
- Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique.

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.

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^3 d'hydrate de méthane peut libérer environ 164 m^3 de gaz.

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 débris 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).

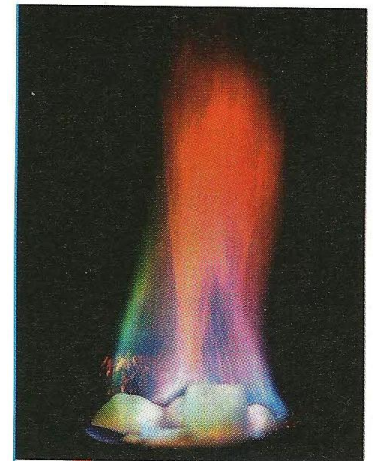


Fig. 1 Échantillon d'hydrate de gaz qui s'enflamme lorsqu'on approche une allumette.

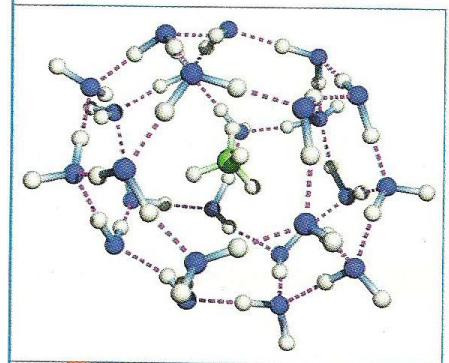


Fig. 2 Structure de l'hydrate de méthane : les molécules de méthane sont entourées par un réseau de molécules d'eau disposées en cage.

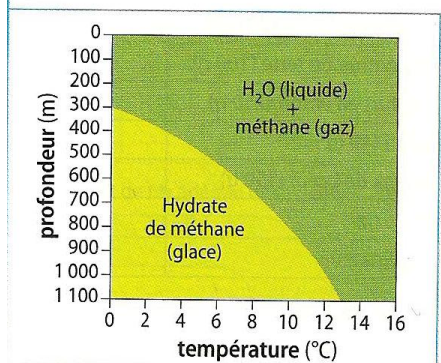


Fig. 3 Domaine de stabilité des hydrates sous les océans.

- 1 Quelle est la formule du méthane ? Donner sa représentation de Lewis.
- 2 Quelles sont les grandeurs physiques importantes qui conditionnent la stabilité des hydrates ?

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 °C ? Donner le résultat dans le système international d'unités.

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

$$1 \text{ bar} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Dans l'eau, la pression augmente de 1 bar tous les 10m.

- 4 À 800 m de profondeur, peut-on trouver des hydrates stables dans une eau à 10 °C ? À 11 °C ? Conclure.

- 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 ?

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) ?

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

b. Écrire l'équation de la combustion complète du méthane.

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.

- 8 a. Qu'est-ce qu'un gaz à effet de serre ?

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

c. À votre avis, comment va évoluer la température à la surface de notre planète dans le futur ?

- 9 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) ?

10 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 ?

Regard critique sur la résolution

- 11 a. Dans les océans, quel phénomène pourrait, éventuellement, compenser l'élévation de température lors du changement climatique ?

b. Quelle conséquence pourrait-il avoir sur la stabilité des hydrates ?

Pour conclure

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



Fig. 4 L'hydrate de méthane libère des bulles de ce gaz dans l'océan.