

1 Activité documentaire : Les traceurs chimiques

Mots-clefs « traceurs chimiques » et « surveillance et lutte contre les pollutions ».

Les traceurs chimiques sont devenus des outils essentiels en océanographie. Que sont-ils et que permettent-ils d'étudier ?

Document 1 – Différents traceurs

De nombreux éléments chimiques transitent par les océans.

Cette dynamique peut être suivie grâce à des mesures de très faibles quantités d'espèces chimiques appelées traceurs.

Ils permettent d'étudier les déplacements des masses d'eaux dans l'océan profond et d'établir des échelles de temps.

Deux types de traceurs sont étudiés : les traceurs naturels (ions silicate, phosphate, nitrate, dioxygène, etc.) et les traceurs transitoires apportés par l'homme (fréon, tritium, carbone, etc.).

Document 2 – Un traceur : le lithium

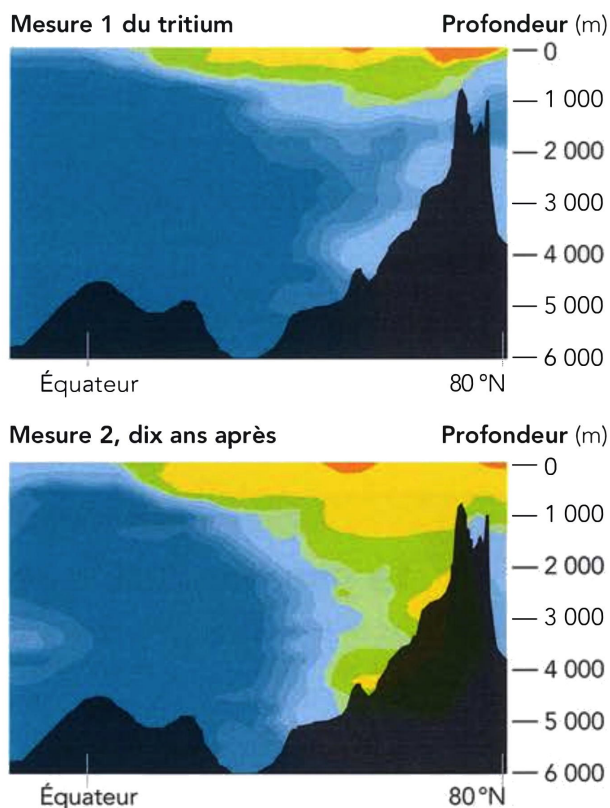


FIG. 1 – Concentration en tritium dans l'océan en fonction de la latitude et de la profondeur. Les « fausses couleurs » du bleu au rouge indiquent une concentration qui augmente.

Dans les années 60, suite aux essais nucléaires, la quantité

de tritium ^3H dans l'atmosphère a augmenté. Le tritium a ensuite diffusé dans les eaux de surface lors des échanges entre l'atmosphère et l'océan. Entraîné par les courants plongeants, il s'est retrouvé en profondeur.

Les figures ci-dessus présentent le résultat de deux mesures de tritium effectuées dans l'Atlantique Nord à 10 ans d'intervalle. Dans ces documents, le tritium est repérable par les couleurs oranges, jaunes et vertes.

Les CFC

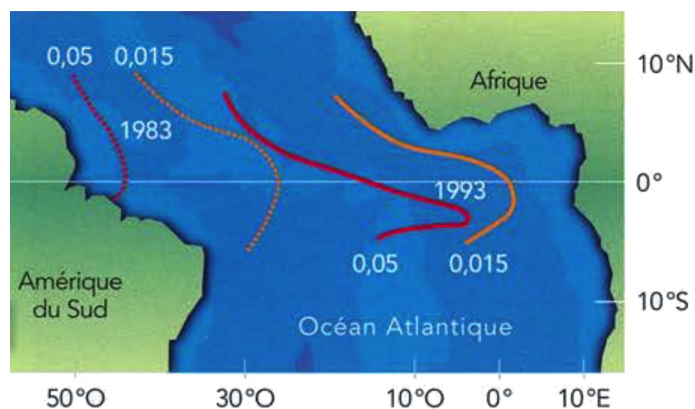


FIG. 2 – Déplacement des isolignes de concentration de CFC dans l'Atlantique.

Les mesures des concentrations en fréons (chlorofluorométhane, CFC-11), gaz libérés depuis plus d'un demi-siècle par les bombes aérosols et les fluides réfrigérants, permettent de mettre en évidence un flux d'eaux profondes en Atlantique Nord et une vitesse d'advection d'environ $1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

La figure précédente compare les isolignes de $0,05 \text{ pmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $0,015 \text{ pmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ entre 1983 (traits en pointillés) et 1993 (traits continus) dans la zone équatoriale de l'Atlantique. Ces données sont recueillies entre 1 600 m et 1 800 m de profondeur.

a. Que sont les traceurs naturels ? Les fréons ?

b. Le tritium est un émetteur β^- . écrire son équation de désintégration. Comment suivre son avancée ?

c. Décrire, à l'aide du document 2, le déplacement du traceur tritium.

d. Définir les termes advection et isoligne. Dans quelle direction se dirige le flux de fréons ?

e. Définir ce qu'est un traceur chimique, puis expliquer comment l'étude des traceurs permet d'analyser la circulation océanique.

2 Activité documentaire : la pollution aux plastiques, le 8^{ème} continent

Mots-clefs « traceurs chimiques » et « surveillance et lutte contre les pollutions ».

C'est par millions de tonnes que les matières plastiques sont aujourd'hui produites, puis rejetées après usage. Comment les déchets plastiques se retrouvent-ils dans l'environnement ?

2.1 Document 1 : les déchets plastiques

Annuellement, plus de 260 millions de tonnes de matières plastiques sont produites. Après usage, la moitié est mise en décharge ou brûlée, 20 % sont transformés en biens à longue durée de vie, 5 % sont recyclés et 25 % sont rejetés dans l'environnement. Les plastiques représentent ainsi plus de 80 % des déchets océaniques.

Sur le plan écologique, ce problème n'a pas été jugé inquiétant pendant des décennies, du fait de la grande inertie chimique des polymères et de leur supposée non-toxicité. Pourtant, les animaux marins, qui ne différencient pas les matières plastiques de leur nourriture, en meurent. De plus, par photodégradation, une bouteille plastique peut se fractionner en des particules très petites (jusqu'à 20 µm). Certains organismes marins les ingèrent alors comme du plancton.

2.2 Document 2 : la gyre du Pacifique Nord

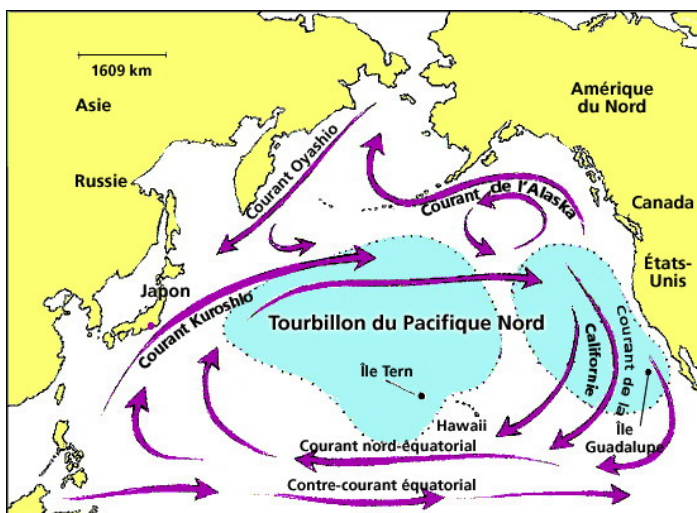


FIG. 3 – Gyre du Pacifique Nord.

à des milliers de kilomètres des côtes, la gyre du Pacifique Nord piège les débris. Ce continent de déchets, dont certains estiment la surface à 4 fois celle de la France,

concentre plus de 5 kg de fragments de matières plastiques par km². Ceux-ci ont une taille moyenne d'un millimètre et on les retrouve jusqu'à 30 m de profondeur. Une zone similaire a été découverte dans l'Atlantique Nord.

2.3 Document 3 : les additifs

Divers additifs sont ajoutés lors de la fabrication d'un polymère afin d'en améliorer les propriétés. Les phtalates, utilisés pour assouplir les matières plastiques, trouble-raient la fécondité masculine. L'hydrure de tributylétain, un stabilisateur, agirait comme une hormone sexuelle. Le bisphénol A, utilisé comme antioxydant, est un perturbateur endocrinien.

En outre, un grand nombre de polluants organiques persistants présents dans l'eau de mer, comme les PCB (polychlorobiphényles), se concentrent dans les matières plastiques.

Les particules plastiques peuvent alors présenter des concentrations en polluants hydrophobes plus d'un million de fois supérieures à l'eau de mer environnante. Ces xénobiotiques, difficilement biodégradables, s'accumulent dans les tissus des animaux et contaminent la chaîne alimentaire.

f. Pourquoi dit-on que les polymères sont chimiquement inertes ? Quelle conséquence cette assertion a-t-elle eue sur la gestion de leur pollution ?

g. Que sont les PCB ? Quels en sont les dangers ? Justifier qu'ils sont hydrophobes et qu'ils se concentrent dans les matières plastiques.

h. Pourquoi les matières plastiques peuvent-elles être dangereuses pour l'homme et l'environnement ?

i. Bilan : Sous quelle forme trouve-t-on majoritairement les matières plastiques dans les océans ? Pourquoi se concentrent-elles dans des zones particulières des océans ?

3 Les ressources des océans

Mots-clefs « ressources », « hydrates de gaz » et « traitement des eaux ».

Les océans sont la nouvelle *Terra Incognita* de l'exploitation minière et énergétique. Les océans recouvrent les trois-quarts du globe terrestre : quelles ressources cachent-ils encore ?

3.1 Les ressources minérales

Les ressources minérales des mers et des océans sont très peu exploitées :

- le **sel** (chlorure de sodium NaCl) est récolté depuis l'Antiquité par évaporation de l'eau de mer dans les marais salants :



FIG. 4 – Récolte de la fleur de sel.

- le **sable** (silice SiO_2) est utilisé pour la fabrication du verre :



FIG. 5 – Cristal de silice.

- des **diamants** situés dans une mine sous-marine à moins de 100 m de profondeur sont exploités depuis 1920 par la société sud-africaine De Beers ;
- certains métaux sont exploités dans des *placers*, des **gisements de métaux** lourds peu profonds formés naturellement par l'accumulation d'alluvions d'origine terrestre. La production d'étain d'origine marine représente ainsi 30 % de la production mondiale.

Les nouvelles ressources minérales laissent entrevoir des perspectives gigantesques :

- les **nodules polymétalliques**, situés directement sur le plancher océanique entre 4 000 et 5 000 m de profondeur, contiennent entre autres les éléments manganèse, cuivre, cobalt et nickel ;



FIG. 6 – Aspect des nodules en situation.



FIG. 7 – Nodule typique.

- les **encroûtements cobaltifères**, situés sur les monts sous-marins entre 400 et 4 000 m de profondeur, sont des dépôts très riches en éléments fer, manganèse et cobalt ;
- les **sulfures hydrothermaux**, situés sur les dorsales volcaniques entre 1 000 et 4 000 m de profondeur, présentent une « forte » proportion en cuivre, zinc, argent, et or.

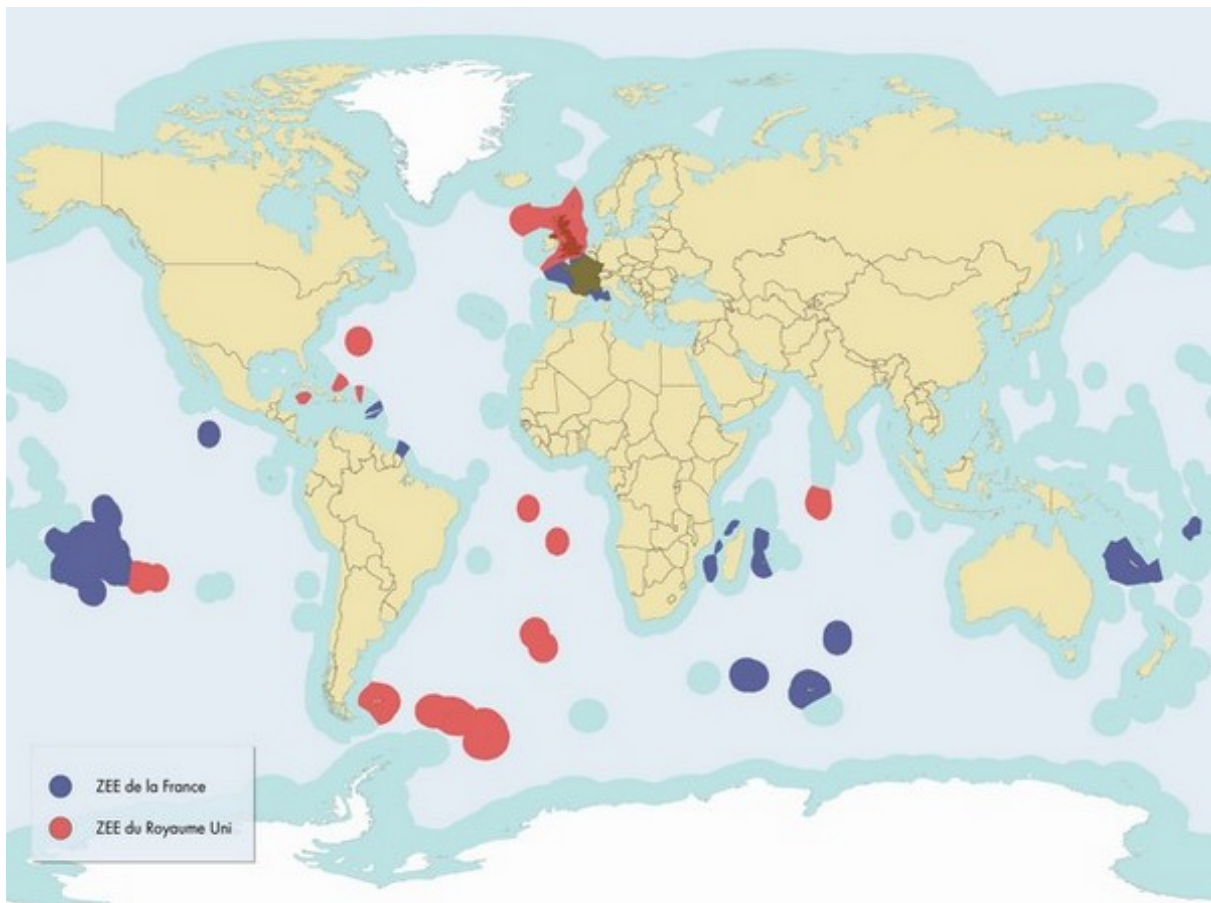


FIG. 8 – Carte de localisation des principales zones de nodules polymétalliques découvertes dans les eaux territoriales françaises et anglaises.

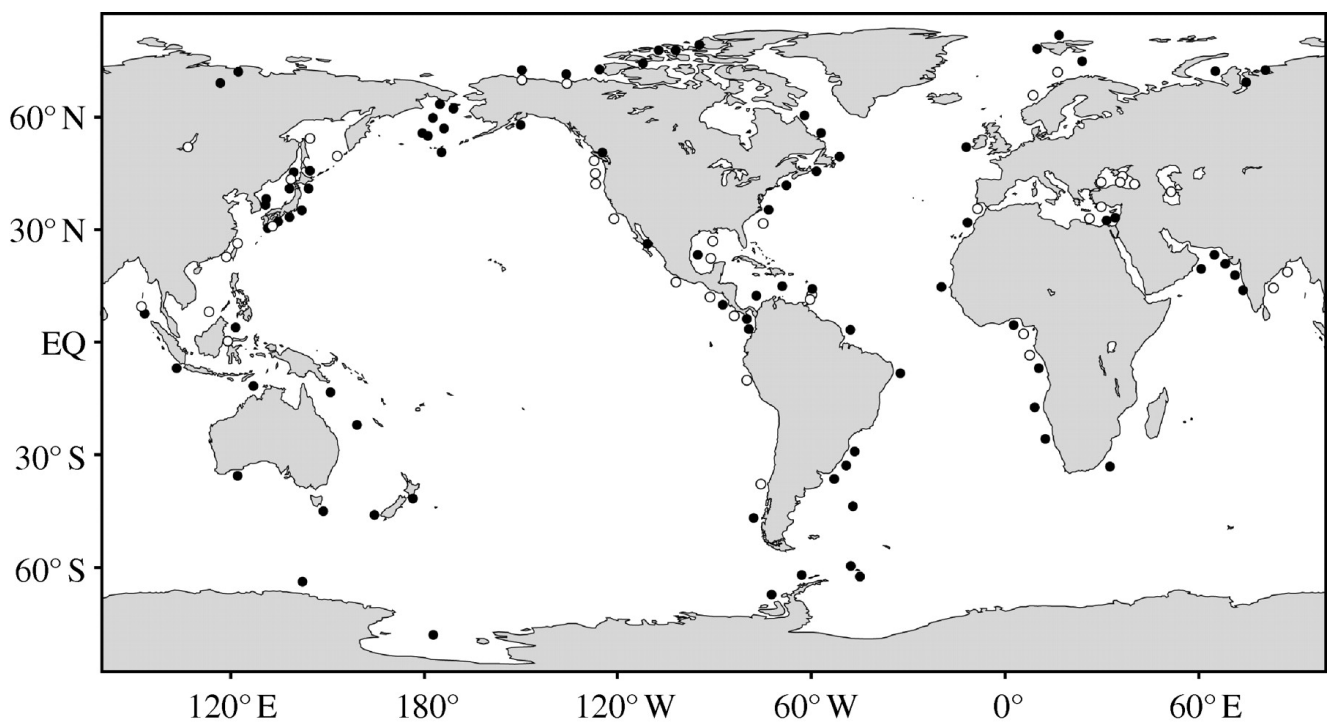


FIG. 9 – Carte de localisation des principales zones d'hydrates. Comme les hydrates de gaz sont stables dans la zone haute du talus continental, toutes les ressources découvertes jusqu'à maintenant sont proches des côtes.

3.2 Les hydrates de gaz

Les hydrates de gaz sont constitués de molécules de gaz, comme le méthane CH_4 , entourées d'un réseau de molécules d'eau disposées en « cage » et reliées entre elles par des liaisons hydrogène.

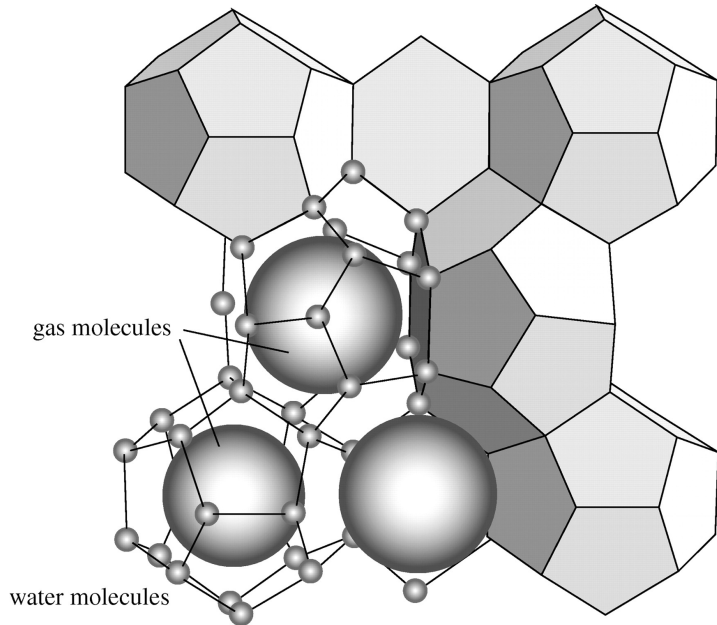


FIG. 10 – Structure d'un hydrate de gaz. La molécule de gaz (symbolisée par le rond) est piégée dans un polyèdre formé de molécules d'eau liées par des liaisons hydrogène (comme dans l'eau solide).

Les hydrates de gaz ont l'apparence et la consistance de la glace. 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.

Les hydrates de gaz sont présents en abondance dans les sédiments des fonds marins et représenteraient deux fois l'équivalent des réserves mondiales de charbon, pétrole et gaz naturel réunis. L'hydrate de méthane ou la « glace qui brûle » pourrait donc couvrir nos besoins en énergie pour de nombreux siècles !



FIG. 11 – Combustion d'hydrates de gaz dans le dioxygène de l'air.

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, qu'à des **pressions** élevées et des **températures** basses. Ainsi, les hydrates de gaz sont presque toujours rencontrés dans les 1 000 premiers mètres sous le fond de la mer.

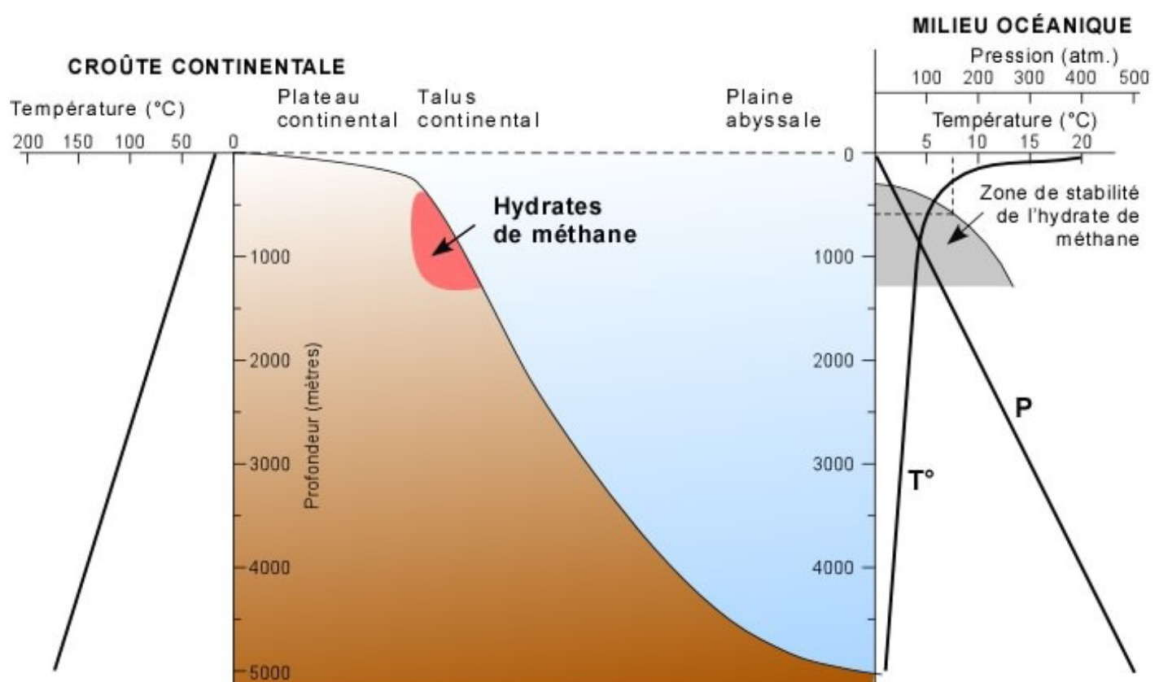


FIG. 12 – Localisation des gisements d'hydrate de gaz.

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 » renfermerait jusqu'à 160 m³ de méthane.

Leur exploitation pose de nombreuses difficultés liées à leur **instabilité**. Une libération incontrôlée dans l'atmosphère d'une grande quantité de **gaz à effet de serre** comme le méthane pourrait avoir des conséquences sur le réchauffement climatique.

3.3 Les ressources organiques

L'océan contient une grande diversité de ressources organiques **animales** et **végétales** (poissons, crustacés, coquillages, algues).

Pour répondre à la demande mondiale en poissons qui a doublé en vingt ans, la pêche s'est intensifiée avec pour

conséquence une menace sur la biodiversité marine.

j. Écrire les formules de Lewis du méthane et de l'eau. Quel type de liaison s'établit entre les molécules d'eau ? Entre les molécules d'eau et de méthane ?

k. À partir de indications des documents à propos des hydrates de méthane, évaluer le nombre moyen de molécules d'eau associées à une molécule de méthane, et en déduire la quantité de méthane contenu dans 1,0 m³ d'hydrates de méthane.

l. Un hydrate de méthane se trouve dans les sédiments océaniques par 600 mètres de fond à 7 °C (en pointillés sur la figure 12). Est-il stable ? Que se passe-t-il si la température de l'océan augmente de 1 °C ? Discuter des conséquences.

m. Bilan : la « glace qui brûle » (dont on donnera l'équation de combustion) est-elle une énorme réserve énergétique pour l'avenir ou un danger redoutable pour le climat ? Argumentez.

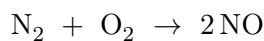
4 Correction des exercices de la séance n° 13 (l'an dernier !)

13.1 Vallée glaciaire

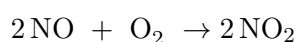
- La photographie du glacier fait apparaître des crevasses et des moraines, toute choses caractéristiques qu'un écoulement est à l'œuvre.
- L'eau forme un « film » sous la glace qui permet son glissement.
- L'érosion des vallées glaciaires est essentiellement une érosion mécanique.

13.2 Les pots catalytiques

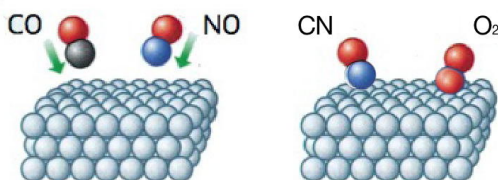
- Première réaction, l'oxydation du diazote aboutit au monoxyde d'azote :



Seconde réaction, le monoxyde d'azote est immédiatement oxydé à nouveau pour former le dioxyde d'azote :



- Schéma similaire :



- Il s'agit d'une catalyse hétérogène.
- Non, le pot catalytique des voitures n'est pas suffisant pour réduire les oxydes d'azote, car d'une part il ne détruit ce gaz toxique qu'une fois arrivé à température (après plusieurs kilomètres parcourus), et d'autre part les émissions des industries doivent elles aussi être traitées.
- Cela diminue le nombre de sites actifs restants. Il faut régénérer le pot catalytique.

13.3 La mer morte

- Les sels minéraux présents dans l'eau de mer proviennent de l'érosion des sols par les eaux de pluie et par les torrents, rivières & fleuves.
- L'évaporation de l'eau des océans et des mers (qui est une des composantes du cycle de l'eau) va provoquer une augmentation de la salinité des mers et des océans (seule l'eau s'évapore!).
- La mer Morte n'a pas de débouché : ses eaux ne peuvent pas se diluer dans celles des océans mondiaux. Mais surtout, la très forte évaporation accélère le phénomène de concentration des ions dans l'eau.
- Lorsque l'homme flotte, il est en équilibre, c'est-à-dire soumis à des forces qui se compensent. Autrement dit son accélération est nulle. On applique la première loi de Newton :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + \vec{\Pi} = \vec{0}$$

Ainsi la poussée d'Archimède de valeur Π compense exactement le poids P dans le but d'éviter la noyade :

$$P = \Pi$$
$$mg = \rho_f g V_s$$
$$V_s = \frac{m}{\rho_f}$$
$$V_s = \frac{75}{1,240} = 60 \text{ L}$$

60 L < 80 L donc l'homme en question ne coule pas, il flotte.

e. Dans une eau de mer typique :

$$V_s = \frac{m}{\rho_f} = \frac{75}{1,025} = 73 \text{ L}$$

Il faut immerger un volume supplémentaire (73 L > 60 L) pour assurer la flottaison, donc on flotte moins bien.

5 Exercices de la séance n° 15

14.1 N° 5 p. 18 – Gaz à effet de serre

14.2 N° 7 p. 19 – L'ion hydrogénéocarbonate

14.3 N° 13 p. 35 – Les récifs coraliens