



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE

EAI SVT 1

SESSION 2016

AGRÉGATION CONCOURS INTERNE ET CAER

Section :
SCIENCES DE LA VIE - SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

COMPOSITION À PARTIR D'UN DOSSIER

Durée : 5 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique (y compris la calculatrice) est rigoureusement interdit.

Les découpages et collages sur les copies des figures, issues du sujet, sont strictement interdits.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : *La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

Tournez la page S.V.P.

A

Le méthane : une source d'énergie aux origines variées et qui engage la responsabilité de l'Homme en matière d'environnement

La responsabilité de l'Homme en matière d'environnement constitue un des fils directeurs de l'enseignement des sciences de la Vie et de la Terre. Ce dossier vous propose de travailler cette question à partir de l'exemple du méthane.

Aucune connaissance préalable concernant le cycle biogéochimique de cette molécule n'est nécessaire pour traiter le sujet. On précise que le méthane est un gaz d'origine anthropique et non anthropique, qu'il constitue une source d'énergie pour l'Homme et qu'il est impliqué dans le bilan radiatif de la Terre.

Ce dossier propose un ensemble non exhaustif de documents dans lequel vous puiserez pour répondre aux questions posées. L'utilisation de la totalité des documents n'est pas obligatoire. Les choix et modifications effectués seront justifiés tant du point de vue scientifique, didactique que pédagogique.

Question 1 : À partir des documents 1 à 6, présentez sous forme d'un schéma les flux quantifiés de méthane entrant et sortant de l'atmosphère. Précisez sur le schéma les mécanismes impliqués dans ces transferts. À partir de ces données, discutez des causes possibles de variations de ces flux, et notamment de l'influence des activités humaines.

03 points

Question 2 :

Q2A : De la Sixième à la Terminale, présentez la cohérence verticale de la problématique de la responsabilité de l'Homme en matière d'environnement, dans le cadre d'une éducation au développement durable dans les programmes du secondaire.

03 points

Q2B : En vous appuyant sur l'exemple du méthane, proposez deux situations de formation pour des niveaux différents du lycée. Vous présenterez chacune de ces situations sous la forme d'une fiche, précisant les objectifs éducatifs visés, les notions construites et les documents utilisés, avec les éventuelles adaptations didactiques.

04 points

Question 3 :

Q3A : En vous appuyant sur des documents choisis dans le dossier, présentez un scénario pédagogique en classe de troisième sur le thème des utilisations des énergies fossiles. Pour ce scénario, vous explicitez, en lien avec les objectifs éducatifs visés, la problématisation choisie, l'activité des élèves (consignes données, compétences du socle commun travaillées et productions attendues).

05 points

Q3B : Concevez dans ce scénario une situation d'évaluation formative. Vous préciserez à quel moment elle s'intègre dans le scénario, la consigne donnée, les critères et indicateurs d'évaluation.

02 points

Question 4 : L'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre aborde des questions socialement vives, notamment en matière d'environnement. En imaginant qu'un étudiant professeur stagiaire vous sollicite pour l'aider à organiser un débat en classe de sciences sur la problématique du méthane, proposez lui trois axes de formation aux capacités sociales et civiques du socle commun (voir document 16 et 17). Explicitez en quoi le débat est propice à cette formation.

03 points

Liste des documents de ce dossier

Document 1 : Sources de méthane atmosphérique.

Document 2 : Puits de méthane atmosphérique.

Document 3A et 3B : Exemples de bactéries méthanotrophes et méthanogènes.

Document 4 : Un exemple de méthanogenèse biologique dans la panse d'un ruminant.

Document 5 : Les hydrates de méthane, l'un des plus importants réservoirs de méthane.

Document 6 : Temps de résidence et forçage radiatif de trois gaz atmosphériques.

Document 7 : Évolution des concentrations atmosphériques en méthane, en dioxyde de carbone et en oxyde nitreux depuis 2000 ans.

Document 8 : Évolution depuis l'antiquité des concentrations en méthane atmosphérique d'origine pyrogène.

Document 9 : Évolution des concentrations relatives en gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre depuis 4.5 milliards d'années, mise en lien avec les périodes de glaciation.

Documents 10A et 10B : La fonte des hydrates de méthane et ses conséquences climatiques.

Document 11 : Courbe d'évolution de la consommation mondiale en énergies de 1860 à 2008.

Document 12 : Répartition mondiale des ressources en gaz naturel et estimation de la durée de vie des réserves d'énergies fossiles.

Document 13 : Production annuelle de gaz conventionnel et non conventionnel aux États-Unis depuis 1949, en lien avec la demande.

Document 14A et 14B : L'exploitation de gaz non conventionnel par hydrofracturation, une question socialement vive médiatisée.

Documents 15A, 15B : Différentes méthodes pour réduire la méthanogenèse chez les ruminants.

Document 16 : Extrait de BOEN Collège 2008 - Responsabilité de l'homme en matière de santé et d'environnement.

Document 17 : Extrait de BOEN Socle Commun 2006 - Compétences sociales et civiques : capacités à développer.

Document 1 : Sources de méthane atmosphérique

Les données sont exprimées en millions de tonnes de méthane par an (MT/an). Elles sont entachées d'incertitudes et d'une forte variabilité d'une publication scientifique à l'autre. Nous avons fait le choix de présenter des flux moyens. Notez par ailleurs que certains auteurs pensent que la pectine des parois des cellules végétales, constamment détruite et fabriquée dans une plante, pourrait entrer dans des voies métaboliques sources de méthane. Ce processus est en cours d'étude et d'évaluation scientifique.

Sources	Estimation des émissions	Modes de production
Zones humides	165 MT/an	Décomposition anaérobie de matière organique par des bactéries méthanogènes. Transport du méthane produit vers la surface par diffusion ou ébullition ou directement par les plantes.
Termites (prairies et forêts tropicales)	20 MT/an	Bactéries méthanogènes présentes dans la matière organique consommée par les termites.
Océans (surtout régions côtières)	15 MT/an	Fuites d'origine biologique au niveau des fonds océaniques dont les sédiments sont riches en matière organique.
Hydrates de méthane (fonds océaniques et permafrost)	10 MT/an	Possibilités de déstabilisation des hydrates du fait d'un réchauffement climatique.
Culture de riz (surtout en Asie)	60 MT/an (en augmentation de 40% depuis 1980)	Décomposition anaérobie de matière organique par des bactéries méthanogènes.
Animaux d'élevage	115 MT/an (dont 75% lié au bétail et aux vaches laitières)	Bactéries méthanogènes du rumen des ruminants.
Énergies fossiles	110 MT/an	Le gaz naturel et le gaz de charbon sont constitués quasi entièrement de méthane : relâché en partie dans l'atmosphère durant l'extraction, les transformations, la distribution.
Combustion de la biomasse	40 MT/an	Méthane relâché lors de la combustion de la végétation (dépendant du type de végétation, de la température, du taux d'humidité).
Enfouissement et traitement des déchets (dont les eaux usées)	65 MT/an	Dégradation de la matière organique.

Sources : Aronson, E.L., Allison, D.A. & Helliher, B.R. (2013) *Environmental impacts on the diversity of methane-cycling microbes and their resultant function*. Front Microbiol. 4:225
 Site de la NASA : <http://icp.giss.nasa.gov/education/methane/>

Document 2 : Puits de méthane atmosphérique

Les chiffres sont exprimés en millions de tonnes de méthane par an (MT/an).

Mécanismes	Estimation des flux sortant
Oxydations atmosphériques	545 MT/an
Oxydation biotique au niveau des sols	30 MT/an

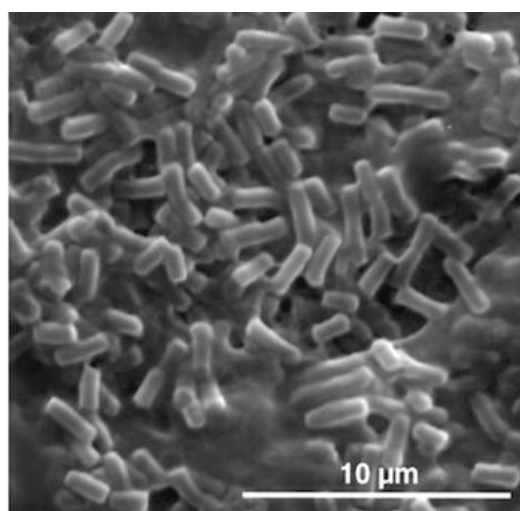
Sources : Aronson, E.L., Allison, D.A. & Helliher, B.R. (2013). *Environmental impacts on the diversity of methane-cycling microbes and their resultant function*. Front Microbiol. 4:225

Jardine C. N. & al. (2004). *Methane UK : Climate science of methane*. Environmental Change Institute,
University of Oxford, Chap. 2, p.21.

Document 3 : Bactéries méthanotrophes et bactéries méthanogènes

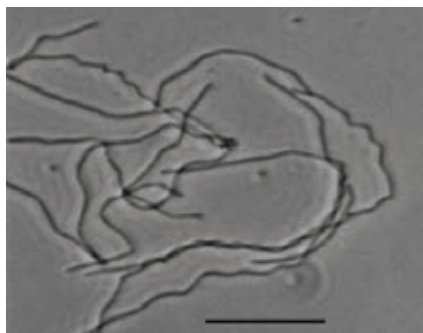
Les échanges biologiques de CH_4 avec l'atmosphère sont régulés par deux types de micro-organismes : les méthanotrophes et les méthanogènes. Dans un écosystème donné, la répartition de ces deux types de bactéries est dépendante de facteurs environnementaux (concentration en oxygène, température, disponibilité en eau et en nutriments). Les bactéries méthanotrophes, consommatrices de CH_4 , sont surtout actives en condition aérobie. Elles tirent leur énergie de l'oxydation du méthane.

Document 3A. Exemple de bactéries méthanotrophes du groupe des archées prélevées sur des récifs carbonatés en Mer Noire (Crimée) et observées en micrographie électronique.

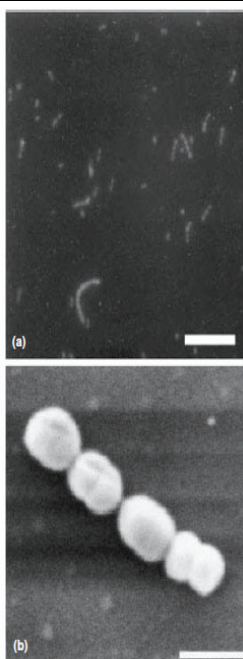


Source : Knittel & al. (2005). *Diversity and Distribution of Methanotrophic Archaea at Cold Seeps*. Appl. Environ. Microbiol. 71 : 1, 467-479

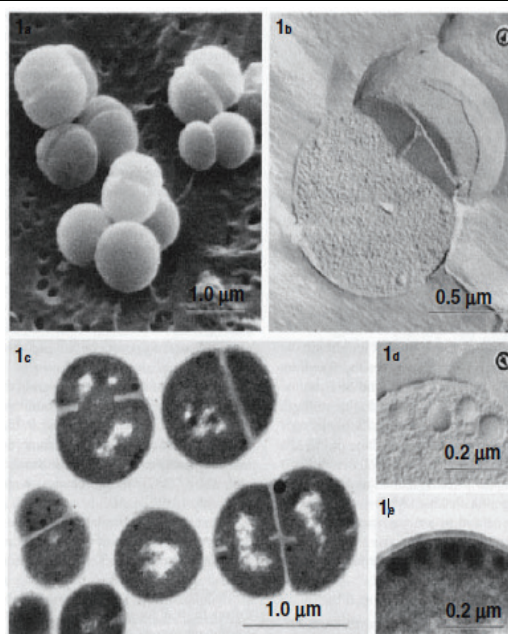
Document 3B : Exemples de bactéries méthanogènes, actives principalement en conditions anaérobies. Source : A. S. Bonin & D. R. Boone (2006). *The Order Methanobacteriales Prokaryotes*, 3:231–243.



Micrographie en contraste de phase de *Methanobacterium oryzae* (milieu de vie : sol de rizière). Barre = 10 μm .



Micrographie en fluorescence (a) et électronographie (b) de *Methanobrevibacter acididurans* (milieu de vie : panse de ruminant) Barre = 25 μm (en haut), Barre = 1 μm (en bas).



Micrographies électroniques de *Methanosphaera stadtmanae* (milieu de vie : colon humain) présentant la morphologie cellulaire (a), la division cellulaire (1b, 1c) et les corps d'inclusion (1d, 1e).

Document 4 : Un exemple de méthanogenèse biologique dans la panse d'un ruminant

Dans la panse de la vache, des ciliés et des bactéries (dont des bactéries méthanogènes) vivent en symbiotes et assurent l'hydrolyse des macromolécules du fourrage (cellulose, hémicelluloses, pectines). La méthanogenèse consomme du dihydrogène, ce qui évite que son accumulation inhibe les fermentations qui ont lieu dans la panse. La population microbienne de la panse (2 kg de micro-organismes) s'accroît quotidiennement d'environ 60%, cet excédent est incorporé au bol alimentaire et digéré. En moyenne une vache consomme une masse sèche de 12 à 13 kg par jour.

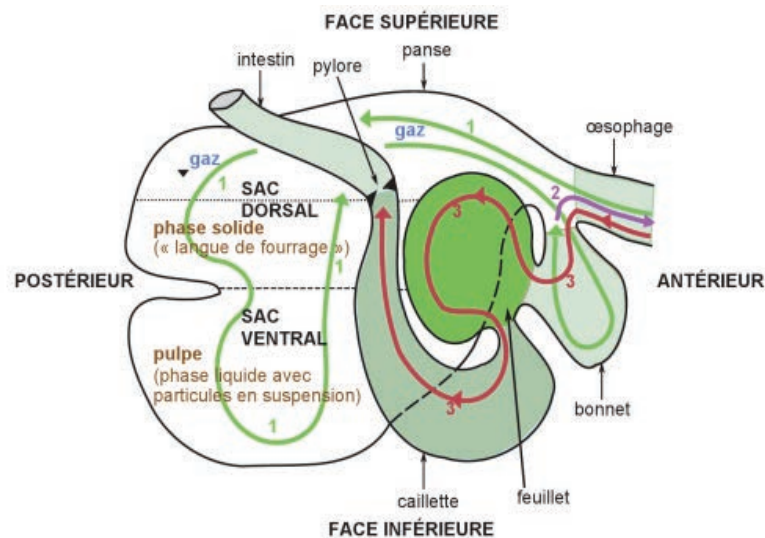
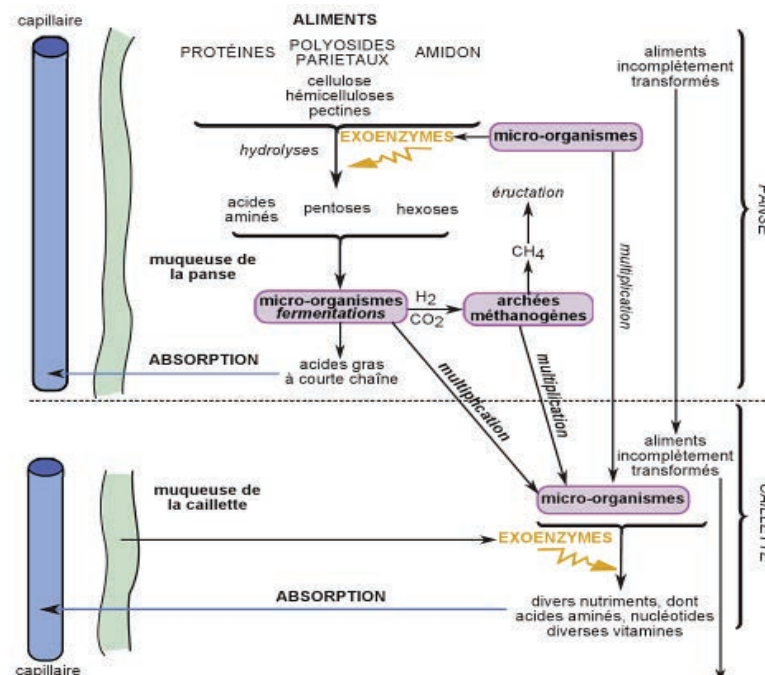


Fig. 4A Le tube digestif de la vache (vue latérale droite) et le circuit du bol alimentaire. Les étapes du circuit du bol alimentaire sont indiquées et numérotées dans l'ordre chronologique.

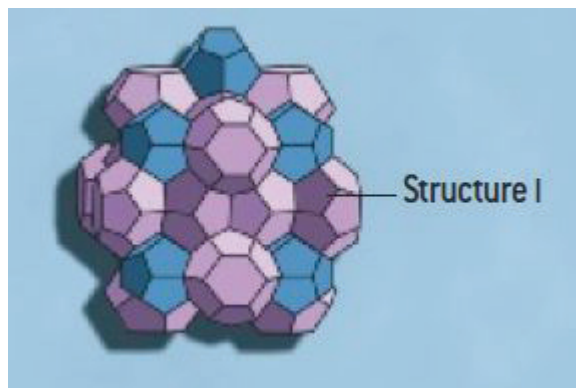
Fig. 4B Digestion polygastrique des aliments et absorption des nutriments chez la vache



(absorption de l'urée salivaire par la muqueuse de la panse non représentée).

Source : S. Maury & al.(2013) Biologie tout-en-un BCPST 1re année - 3e éd. Dunod.

Document 5 : Les hydrates de méthane, l'un des plus importants réservoirs de méthane



Les hydrates de méthane sont agencés selon une structure cristalline précise, la structure I.



En surface, on peut enflammer les hydrates de méthane, le gaz brûlant à mesure que la glace fond.

Les hydrates de gaz sont tapis dans les sédiments superficiels des eaux océaniques profondes (forte pression et basse température) ou dans les zones continentales à pergélisols (faible pression mais très basse température), notamment les pergélisols d'Arctique qui représentent 25% des terres émergées de la planète. Les conditions de pression et de température stabilisent ces glaces d'eau emprisonnant des gaz, notamment des hydrocarbures comme le méthane, un gaz initialement produit par des archéobactéries des sédiments.

Au début des années 1950, la structure des hydrates de gaz a été élucidée par des études de diffraction aux rayons X. Ils peuvent être déstabilisés par une augmentation de la température et/ou une baisse de la pression (par baisse du niveau marin par exemple), conduisant alors à une libération de gaz dans l'atmosphère.

Les hydrates de méthane constitueraient l'un des plus importants réservoirs de méthane sur Terre, au moins équivalent aux réserves de gaz actuellement exploitées.

Sources :

Pour la Science - dossier n°73, Octobre-Décembre 2011, p.9. *Les hydrates de gaz, un enjeu énergétique et climatique*. Pour la Science - n°323, Septembre 2014, p. 30. *Méthane et climat*.

Pour la Science - dossier n°69, Octobre 2010, p.22. *Les hydrates de méthane constituent-ils une ressource exploitable ?*

Document 6 : Temps de résidence et forçage radiatif de trois gaz atmosphériques.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Temps de résidence dans l'atmosphère	De 5 à 200 ans	10 ans	110 ans
Estimation du forçage radiatif (W/m ²)	1,5	0,5	0,1

On rappelle que le bilan radiatif représente la différence entre le rayonnement solaire reçu et le rayonnement infrarouge réémis par la planète. Sous l'effet de l'évolution de certains facteurs comme par exemple la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre, le bilan radiatif de la Terre se modifie : on parle de forçage radiatif.

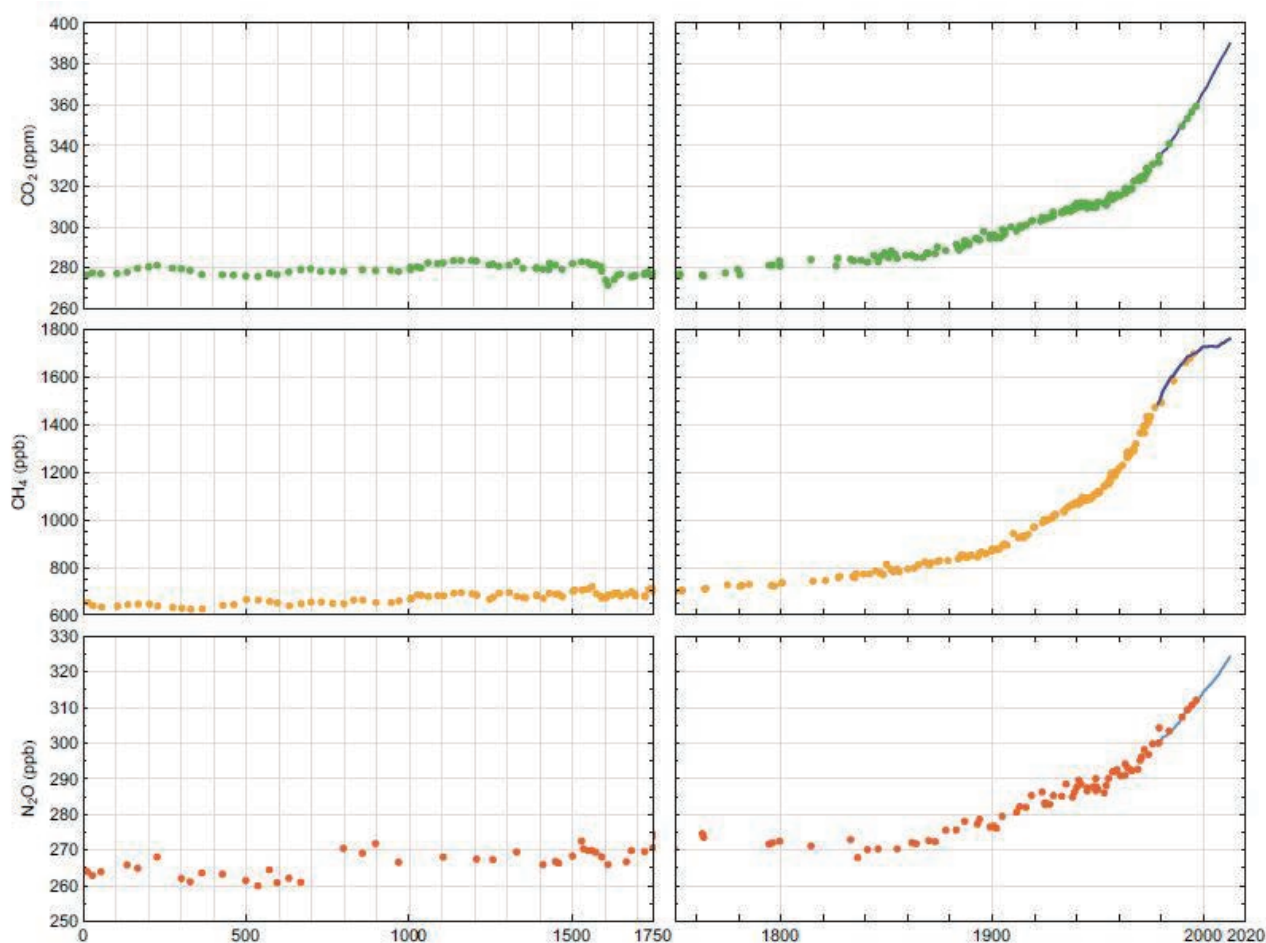
Un forçage radiatif positif a tendance à réchauffer la surface de la Terre, et un forçage négatif tend en moyenne à en refroidir la surface. Dans les rapports du *Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (GIEC), les changements dans le forçage radiatif sont comparés à l'année 1750.

Source : Jardine C. N. & al. (2004). *Methane UK : Climate science of methane*. Environmental Change Institute,
University of Oxford, Chap. 2, p.21.

Document 7 : Évolution des concentrations atmosphériques en méthane, en dioxyde de carbone et en oxyde nitreux depuis 2000 ans.

La figure présente les résultats de mesures des concentrations atmosphériques de CO₂, CH₄ et N₂O durant la période industrielle (à droite) et depuis l'an 0 jusqu'à 1750 (à gauche). Ces concentrations ont été déterminées à partir de l'analyse de la composition de l'air emprisonné dans les carottes de glaces d'Antarctique (points colorés) et de mesures atmosphériques directes (tracés continus) depuis l'Observatoire de Cape Grim en Tasmanie.

Dans cette figure, la concentration en dioxyde de carbone atmosphérique est exprimée en parties par million (ppm), celle en méthane et celle en oxyde nitreux* en parties par billion (ppb). A titre indicatif, 280 ppm de CO₂ correspondent à 280000 ppb, soit 280 cm³ de CO₂ dans 1 m³ d'air.



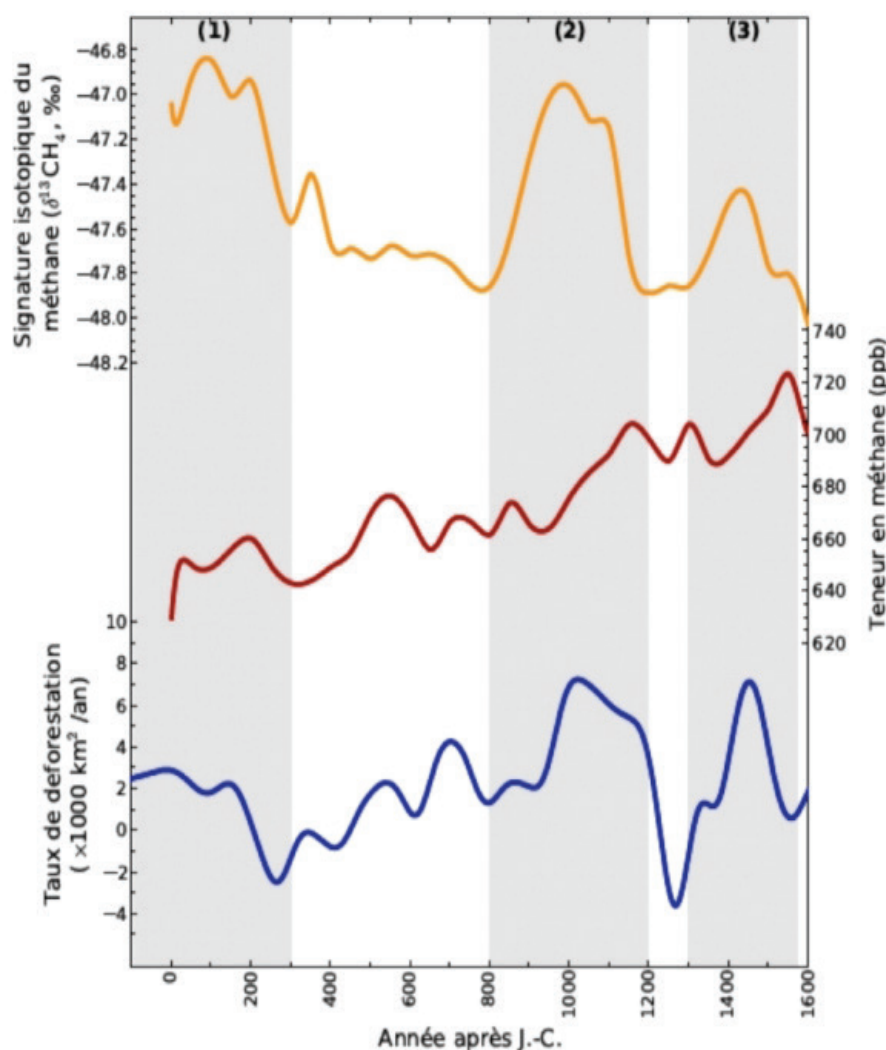
* On précise que l'oxyde nitreux (ou protoxyde d'azote) est un gaz à effet de serre produit par le sol et les océans, mais également par la combustion de matières organiques et de combustibles fossiles.

Source : Rapport d'expertise du GIEC, 2013, Carbone et autres cycles biogéochimiques, Chapitre 6, p. 493.

Document 8 : Évolution depuis l'antiquité de la signature isotopique du méthane atmosphérique, en relation avec son origine biologique ou pyrogène.

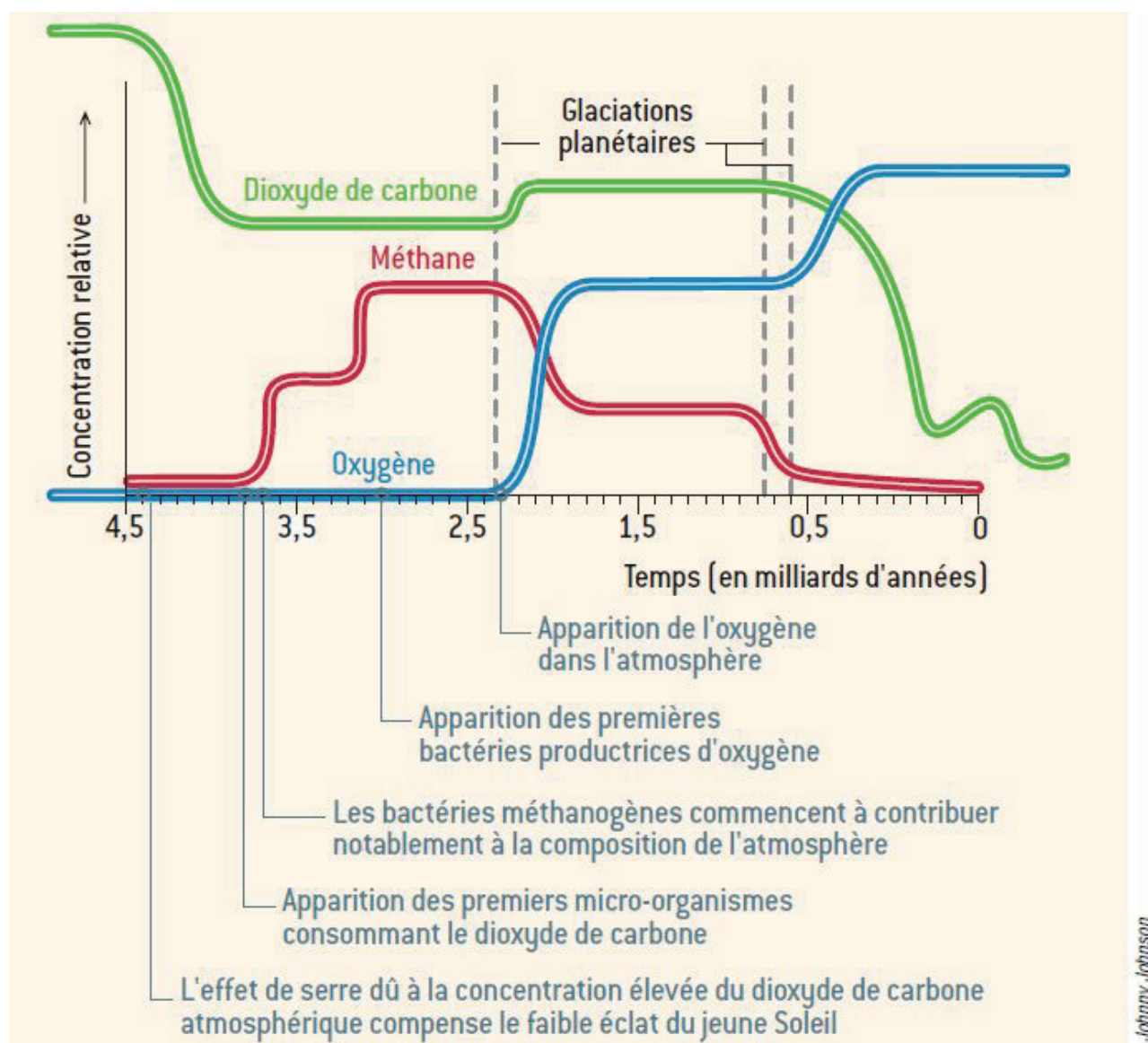
À partir de l'analyse du méthane piégé dans des carottes de glace du Groenland, une équipe internationale a découvert que l'homme émet du méthane depuis l'antiquité, notamment *via* des feux de végétation. Le méthane pyrogène a une signature isotopique différente (en moyenne $\delta^{13}\text{CH}_4 = -22\text{‰}$) de celle du méthane biogène ($\delta^{13}\text{CH}_4 = -60\text{‰}$) et du méthane d'origine géologique (en moyenne $\delta^{13}\text{CH}_4 = -38\text{‰}$). L'origine du méthane dans l'atmosphère du passé peut alors être mise en relation avec le taux de déforestation.

(1) : la chute du $\delta^{13}\text{CH}_4$ vers 200 correspondrait au déclin de la dynastie Han en Chine et de l'Empire romain en Europe, pour lesquels le bois était une ressource énergétique centrale. (2) : l'expansion humaine et l'urbanisation médiévale entre 800 et 1200 accompagnent parfaitement la seconde augmentation du $\delta^{13}\text{CH}_4$. (3) : la troisième augmentation du $\delta^{13}\text{CH}_4$ accompagne la période climatique qualifiée de *Petit Age Glaciaire*, durant laquelle une chute importante des températures et des précipitations se produit dans l'Hémisphère nord.



Source : Site du CNRS-INSU, Octobre 2012. *Du méthane émis par les activités humaines depuis l'Empire romain.*

Document 9: Évolution des concentrations relatives en gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre depuis 4.5 milliards d'années, mise en lien avec les périodes de glaciation.



D'après les modélisations de Kasting et al. (2002), les archéobactéries méthanogènes auraient été abondantes au début de l'histoire de la Terre. Après l'apparition de l'oxygène, il y a environ 2.3 milliards d'années, les niches écologiques des bactéries méthanogènes se seraient notablement réduites et la concentration de méthane atmosphérique aurait commencé à diminuer.

Source : Pour la Science - n°323, Septembre 2014, p. 30. *Méthane et climat.*

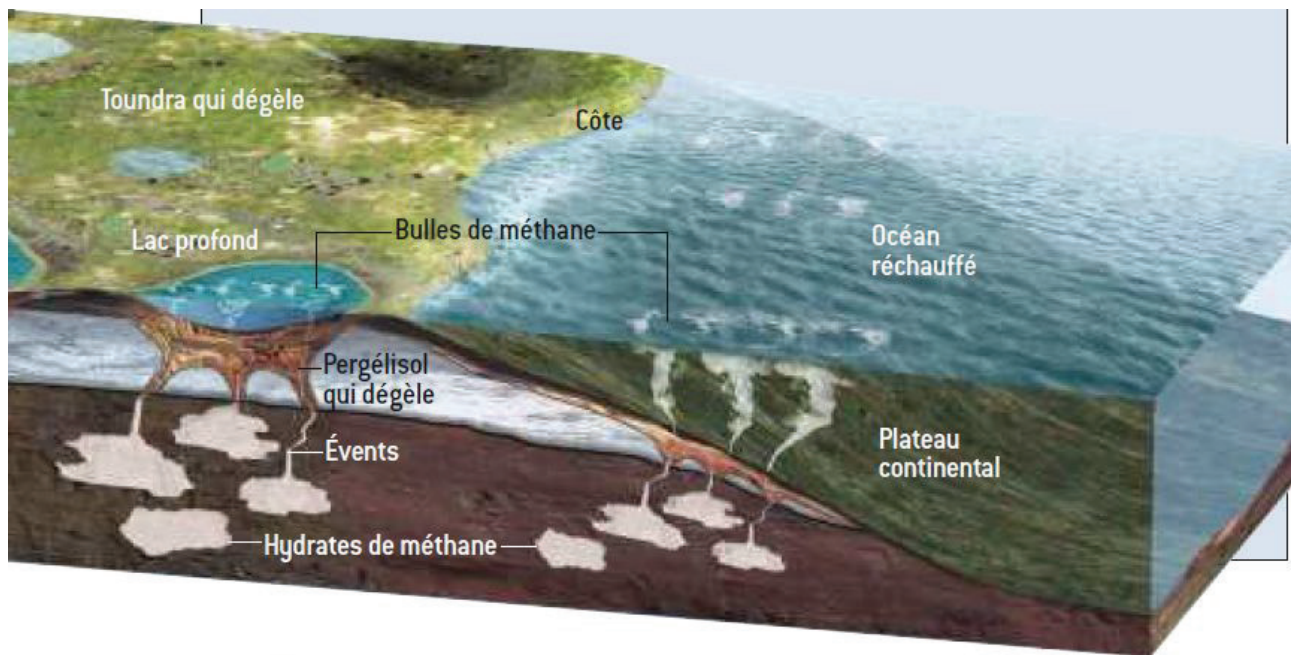
Document 10A : Vue aérienne des lacs et des mares résultant du dégel du pergélisol (sol gelé depuis des milliers d'années) dans l'Arctique canadien. Ce sol stocke du carbone d'origine végétale âgé de plus de 20 000 ans. Lorsque cette matière organique se retrouve dans les mares, il subit l'action de bactéries méthanogènes.



© Centre d'Études Nordiques, Takuvik.

Photographie aérienne extraite de l'article *Pergélisol, le piège climatique*. Journal du CNRS, Janvier 2015.

Document 10B : La théorie du « fusil à hydrates de méthane »



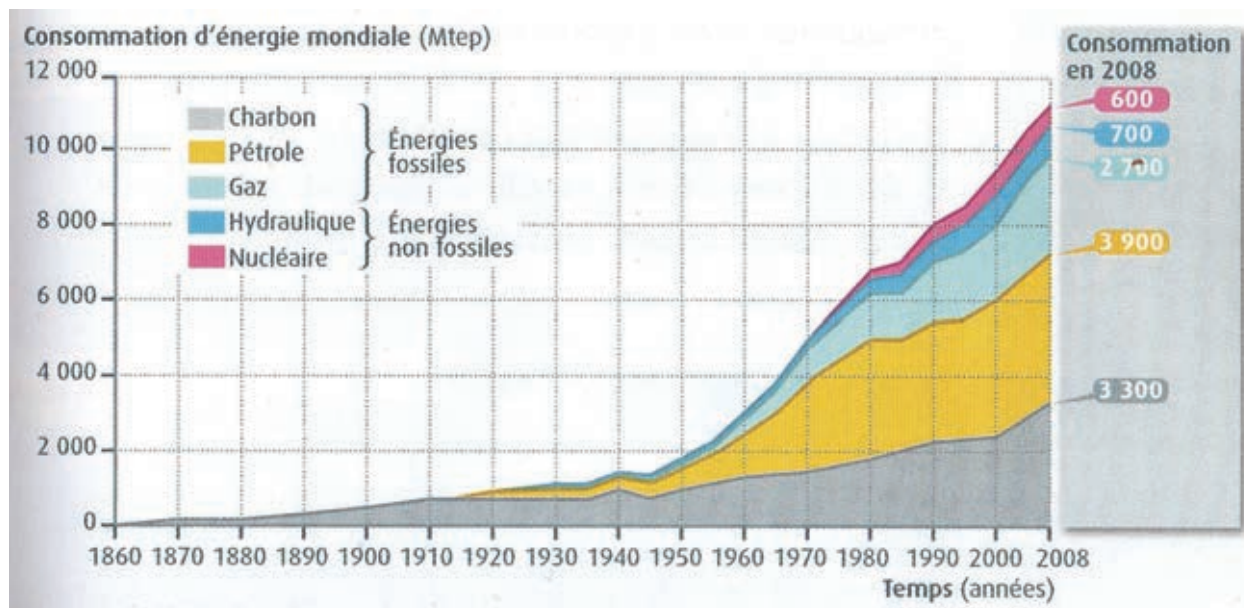
La fonte des hydrates de méthane, marins ou continentaux, associée à une reprise de la méthanogenèse anaérobie dans les sols dégelés d'Arctique pourraient conduire à des émissions de méthane bien au delà de ce que produisent actuellement toutes les autres sources naturelles et humaines de ce gaz. Ces émissions pourraient avoir des conséquences climatiques non négligeables et acidifier les océans par oxydation du méthane en CO_2 . Selon les modélisations à l'horizon 2100, ce supplément de méthane pourrait augmenter la température moyenne atmosphérique annuelle de 0.32°C .

Mais pour l'instant, aucune étude scientifique n'a montré d'emballement du réchauffement climatique lié à l'augmentation des émissions de méthane issues des hydrates. Les scientifiques pensent que ces flux sont actuellement plus faibles que ceux liés à la décomposition de la matière organique dans les marais ou les tourbières.

L'américain James Kennett a proposé un modèle climatique dans lequel les hydrates de méthane s'accumuleraient pendant les périodes glaciaires et se dissocieraient lors des réchauffements.

Sources : Pour la Science n°390, Avril 2010, p.74 et 78. *Méthane : un péril fait surface.*
Pour la Science dossier n°73, Octobre-Décembre 2011, p.12. *Les hydrates de gaz, un enjeu énergétique et climatique*

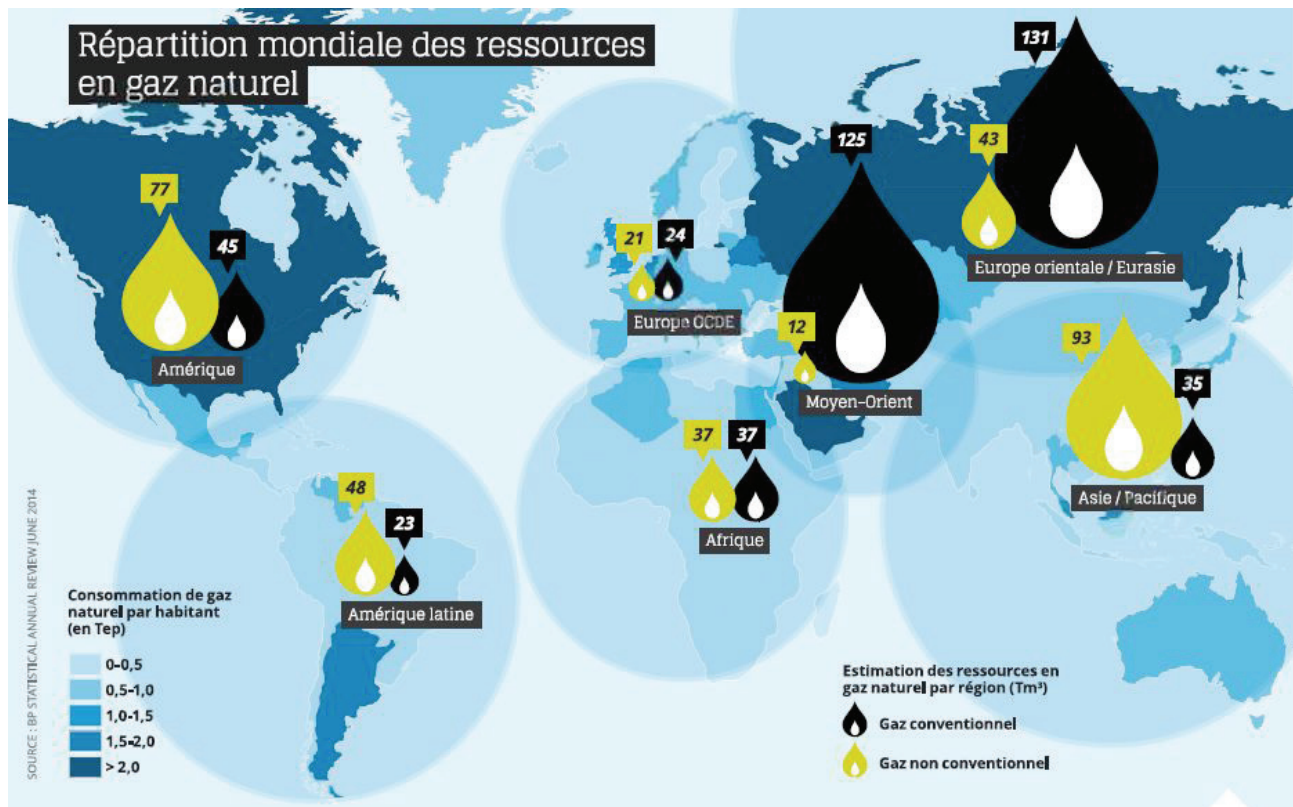
Document 11 : Courbe d'évolution de la consommation mondiale en énergies de 1860 à 2008.



Ces évolutions sont exprimées en millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep). 1 tep correspond à l'énergie libérée par la combustion d'une tonne de pétrole.

Source : Manuel Belin SVT, Classe de Seconde (2010, p. 137)

Document 12A : Répartition mondiale des ressources en gaz naturel



L'estimation des ressources mondiales en gaz naturel, d'origine conventionnelle et non conventionnelle* est soumise à débat. Il n'en demeure pas moins que, dès les années 1970, face à l'épuisement rapide des réserves conventionnelles et motivée par l'envol des prix, l'industrie gazière a développé des techniques lui permettant de libérer et de puiser ne serait-ce qu'une infime fraction des ressources non conventionnelles de gaz. C'est ainsi que, dans les années 2000, l'amélioration des techniques d'extraction horizontale a permis la première exploitation économique du gaz de roche-mère.

* Précisons que les gaz dit conventionnels sont contenus dans des roches réservoirs de type gréseuse (roches poreuses et perméables) et sont récupérés par un forage vertical. Les gaz non conventionnels sont piégés dans des roches compactes (schistes et charbons, peu poreux et imperméables). Ils sont accessibles uniquement par forage horizontal.

Source : Journal du CNRS n°277, été 2014, p.15-19. Le gaz, énergie de la transition ?

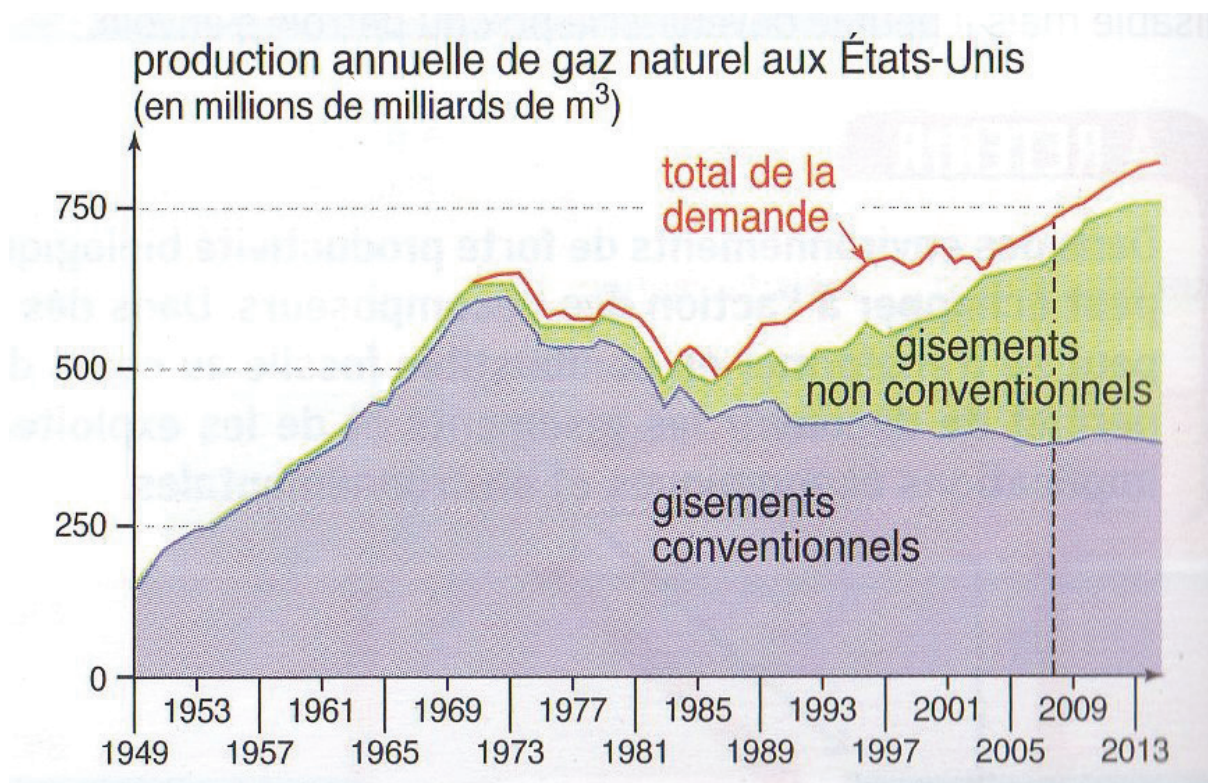
Document 12B : Estimation de la durée de vie des réserves d'énergies fossiles

Énergies fossiles	Réserves mondiales*
Pétrole	Environ 40 ans
Gaz	Environ 60 ans
Charbon	Environ 200 ans
Uranium	Environ 100 ans

* il s'agit du nombre d'années que peuvent couvrir les réserves actuellement connues, en tenant compte de la consommation mondiale d'énergie en 2005 et des probables évolutions futures de cette consommation.

Sources : Manuel Bordas SVT, Classe de Troisième (2008, p.219) et Hatier SVT, Classe de Seconde (2010, p.169)

Document 13 : Production annuelle de gaz conventionnel et non conventionnel aux États-Unis depuis 1949, en lien avec la demande.



Malgré son coût élevé, l'extraction de gaz non conventionnel se développe considérablement, notamment aux États-Unis où elle atteint 50% des gaz extraits en 2013. Ces gisements nécessitent un nombre considérable de puits, d'où un impact important sur le paysage. De plus, une grande quantité d'eau doit être injectée dans le gisement, une eau qu'il faut ensuite traiter avant de la rejeter dans l'environnement.

Source : Manuel Bordas SVT, Classe de Seconde (2010, p.122)

Documents 14 : L'exploitation de gaz non conventionnel par hydrofracturation : une question socialement vive

Document 14A : Gaz de schiste : manifestations dans toute la France

BFMTV avec AFP. Article publié le 22/09/2012 et consulté en ligne le 01/01/2015.



Plusieurs manifestations contre le gaz de schiste ont été organisées samedi à travers la France, à l'occasion de la journée internationale contre la fracturation hydraulique.

Des collectifs citoyens ont appelé à manifester samedi à Paris, en Ile-de-France, dans le Gard et le Tarn-et-Garonne, à l'occasion de la journée internationale contre la fracturation hydraulique. (...) Ils estiment qu'une grande partie des permis ou demandes d'extraction visent des gaz et pétrole de schiste, des hydrocarbures exploitables seulement par la technique de la fracturation hydraulique considérée à risques pour l'environnement et la santé.

A Saint-Christol-lès-Alès, 3.500 personnes étaient attendues tout au long de la journée pour des ateliers de sensibilisation, selon Jacqueline Balvet, en charge de l'organisation de cette manifestation. En Seine-et-Marne, entre 400 et 500 personnes se sont rassemblées pour protester contre l'exploitation du gaz de schiste, "600", selon les organisateurs de l'opération. A Paris, place du Trocadéro, une trentaine de personnes grimées en clowns ont mimé le forage symbolique d'un puits lors d'une manifestation éclair. Réunies à Beaumont-de-Lomagne, environ 400 personnes ont formé une chaîne humaine en début d'après-midi autour de la halle où ils ont organisé des débats et animations pendant toute la journée. Ils ont dansé une farandole dans une ambiance bon enfant en criant "non aux gaz de schiste".

Document 14B : Témoignage de Bruno COURME, directeur général Europe Gaz de schiste chez Total. Dans le journal télévisé de TF1, le 10 mai 2011, il s'exprime à propos des risques de contamination de la nappe phréatique liés à l'exploitation des gaz de schiste par hydrofracturation.

« Les problèmes qui peuvent exister, et c'est pour ça que je dis que si on respecte les règles, normalement il n'y a pas de risques, ce sont des problèmes d'étanchéité et d'intégrité du puits, entre le puits et la nappe phréatique. Si vous travaillez correctement, il n'y a pas de raison qu'il y ait des contaminations. »

Documents 15A : Différentes méthodes pour réduire la méthanogenèse chez les ruminants

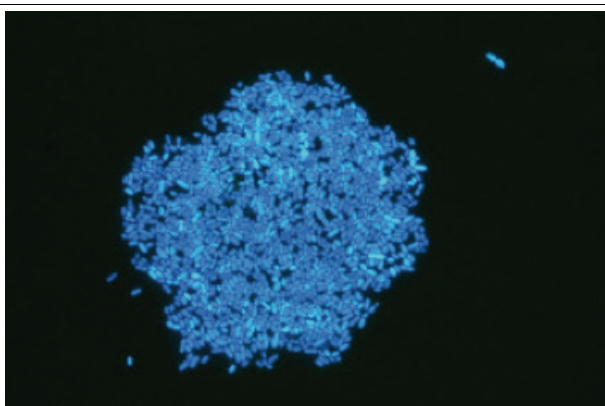
Modalités	Exemples	Actions
1. Actions au niveau de la ration	Nature des fourrages	Une herbe pâturée en début d'épiaison entraîne une émission de méthane plus faible (de 10%) que la même herbe pâturée à un stade avancé (plus riche en parois). L'introduction des légumineuses dans une prairie de graminées entraîne une diminution de la production de méthane par les bovins. Certaines légumineuses (sainfoin, lotier, sulla...) ont la propriété d'être riches en tanins condensés. Ces derniers limitent à la fois la dégradation des protéines alimentaires et la méthanogenèse ruminale.
	Utilisation de concentrés	L'utilisation d'amidon (orge, blé, maïs) oriente les fermentations ruminales vers la formation de propionate qui mobilise l'hydrogène métabolique et diminue donc la méthanogenèse. L'utilisation de lipides (acides gras longs polyinsaturés comme l'acide linoléique concentré dans l'huile de lin) diminue la méthanogenèse (sans modifier le pH du rumen).
2. Emploi d'additifs	Les antibiotiques	Les antibiotiques (monensine, lasalocide, salinomycine, avoparcine) ont une action inhibitrice significative sur les bactéries qui produisent des quantités importantes d'hydrogène. Ils sont interdits comme additifs alimentaires depuis 2006 par les autorités sanitaires de l'Union Européenne.
	Les additifs chimiques	Les diacides organiques (aspartate, malate ou fumarate) sont des précurseurs potentiels de succinate et de propionate qui peuvent donc participer à la fixation de l'hydrogène. Ils ont une influence sur le pH ruminal (acidose) et un coût important.
	Les extraits de plantes	Les plantes telles que ail, piment, yucca, cannelle... ont des propriétés bactéricides. Ce sont des produits d'origine naturelle. Leur efficacité in vivo reste à démontrer.
3. Manipulations biotechnologiques de l'écosystème microbien ruminal	La défaunation (élimination des protozoaires du rumen)	Diminution de la production d'hydrogène et suppression de la fraction de bactéries méthanogènes fixée à la surface et dans les cellules des protozoaires ciliés. Disparition de l'effet après une période de 12 mois. Toxicité potentielle par les agents chimiques utilisés Diminution de la digestion des parois végétales.
	Les agents biologiques	Utilisation de bactéries acétogènes (type <i>Peptostreptococcus productus</i> ATCC 35244 ou <i>Lactobacillus plantarum</i> 80) en compétition avec les méthanogènes pour l'utilisation de l'hydrogène dans le rumen. Coût faible. Efficacité variable (diminution, stabilité ou augmentation de la production de méthane) selon les études.
	Vaccination des ruminants contre les méthanogènes	Diminution de la production de méthane sans effets négatifs sur les animaux. Effet à long terme mal connu.
Pour plus de détails, voir le document 15B .		
4- Sélection génétique des animaux	Sélection orientée des animaux pour produire moins de méthane	Critères physiologiques sélectionnés : - capacité à produire peu de méthane, - temps de séjour des aliments dans le rumen (la diminution de ce temps diminue la méthanogenèse) - capacité de valorisation d'une ration (sélectionner des animaux qui consomment moins d'aliments tout en assurant un niveau de production comparable. Stratégies à long terme.

Remarque : les modalités de réduction de la production de méthane relatives à la ration, à la modulation du nombre d'animaux (diminution du nombre d'animaux pour une production donnée, chargement au pâturage) ou du mode de production ou encore de l'intensification du système d'élevage, ne sont pas détaillées.

Les émissions totales de méthane d'origine digestive par les herbivores en France s'élèvent à 1,45 millions de tonnes par an, avec une contribution très importante des ruminants et plus particulièrement des bovins (91%). Outre l'aspect environnemental, le méthane éructé constitue pour le ruminant une perte en énergie sous forme gazeuse estimée à environ 6-10% de l'énergie brute ingérée. Il est admis qu'une réduction de 20% du méthane digestif ne perturbe pas les fonctions digestives ou fermentaires essentielles du rumen.

Source : C. Martin, D. Morgavi, M. Doreau, J.P. Jouany (2006).

Comment réduire la production de méthane chez les ruminants ? Fourrages 187, 283-300



Document 15B : Agglutination de cellules de *Methanobrevibacter ruminantium* par l'antiserum produit contre une fraction de paroi cellulaire.

Source : Wedlock et al. 2010. Development of a vaccine to mitigate greenhouse gas emissions in agriculture: Vaccination of sheep with methanogen fractions induces antibodies that block methane production in vitro.
NZ Vet. J. 58:29-36.

Document 16 : Responsabilité humaine en matière de santé et d'environnement. Extrait du Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008, Programme du collège, classe de troisième, p 34.

Objectifs éducatifs

L'objectif, pour le professeur, est d'éduquer au choix et non d'enseigner des choix réputés meilleurs que d'autres. L'éducation à la santé et celle au développement durable sont l'occasion d'amener l'élève à prendre conscience que les sujets abordés soulèvent des questions d'éthique et à acquérir responsabilité et autonomie.

[...] Cette partie sera l'occasion d'un croisement des disciplines, d'un travail au centre de documentation et d'information avec le professeur documentaliste et, dans la mesure du possible, d'une collaboration avec des partenaires extérieurs. Pour les projets consacrés à l'environnement, on veillera à ce qu'ils soient appuyés sur des exemples pris dans le territoire de l'élève ; traiter de questions locales d'environnement dans une perspective de développement durable amène naturellement à ouvrir l'établissement via les partenariats, à favoriser une implication et un engagement plus direct des élèves.

Chaque élève, seul ou en groupe, s'implique selon une démarche de projet dans un sujet. Ce travail aboutit à une production exploitable collectivement et pouvant intégrer l'usage des technologies de l'information et de la communication. L'enseignant encadre le travail des élèves dans toutes les étapes de la démarche de projet.

Document 17 : Compétences sociales et civiques

Extrait du Socle Commun - Décret du 11 juillet 2006

A. VIVRE EN SOCIÉTÉ

■ CAPACITÉS

Chaque élève doit être capable :

- [...] de communiquer et de travailler en équipe, ce qui suppose savoir écouter, faire valoir son point de vue, négocier, rechercher un consensus, accomplir sa tâche selon les règles établies en groupe ;
- d'évaluer les conséquences de ses actes : savoir reconnaître et nommer ses émotions, ses impressions, pouvoir s'affirmer de manière constructive ; [...]

B. SE PRÉPARER À SA VIE DE CITOYEN

■ CAPACITÉS

Les élèves devront être capables de jugement et d'esprit critique, ce qui suppose :

- savoir évaluer la part de subjectivité ou de partialité d'un discours, d'un récit, d'un reportage ;
- savoir distinguer un argument rationnel d'un argument d'autorité ;
- apprendre à identifier, classer, hiérarchiser, soumettre à critique l'information et la mettre à distance ;
- savoir distinguer virtuel et réel ;
- être éduqué aux médias et avoir conscience de leur place et de leur influence dans la société ;
- savoir construire son opinion personnelle et pouvoir la remettre en question, la nuancer (par la prise de conscience de la part d'affectivité, de l'influence de préjugés, de stéréotypes).