

Comment aborder le problème de la réglementation de l'extraction du méthane du lac Kivu

Michel Halbwachs – Data Environnement – le 17 novembre 2011

Généralités

A ce jour, en 2011, plusieurs sociétés ont entrepris des essais d'extraction du gaz méthane du lac Kivu (ou sont en train de construire des stations d'extraction).

Deux ateliers ont été tenus, en 2007 et 2011, à Gisenyi en présence des autorités des gouvernements du Rwanda et de la République Démocratique du Congo. La nécessité d'une réglementation des stations d'extraction a été exprimée à chaque occasion par les représentants des deux états riverains du lac. L'ensemble des intervenants à ces ateliers – politiques, scientifiques, investisseurs, concepteurs industriels, bailleurs de fonds potentiels – s'accorde à penser qu'il est indispensable de se mettre d'accord sur des textes de réglementation avant de procéder à une exploitation industrielle du gaz.

Trois principaux thèmes peuvent être abordés concernant cette réglementation.

- Le respect de la protection environnementale du lac Kivu, plus précisément de sa couche superficielle vivante appelée biozone. Cette partie fait principalement intervenir le procédé de rejet des eaux dégazées, riches en sels dissous (nutriments).
- Une exploitation économique optimale du gisement de gaz contenu dans les eaux profondes du lac. Cette partie fait intervenir un coefficient de performance de l'extraction qui devra être optimisé pour extraire le méthane de manière la plus rentable possible et éviter un gaspillage de cette ressource naturelle (importante mais cependant limitée) qui constitue un véritable trésor pour les pays riverains du lac.
- Le procédé d'extraction du gaz doit satisfaire à des exigences en terme de réduction du risque d'explosion gazeuse dans le lac. Rappelons qu'une telle explosion – du type Lac Nyos au Cameroun en 1986 – pourrait faire plus d'un million de victimes parmi la population vivant sur les rives du lac.

Objectifs

Sur le plan technique, ces textes de réglementation doivent répondre à deux impératifs difficiles à satisfaire.

1) Choix d'un procédé de rejet des eaux dégazées riches en sels dissouts.

La technique de rejet choisie doit préserver au mieux l'environnement actuel et futur de la partie vivante du lac (biozone) qui s'étend entre la surface du lac et une profondeur variant entre 30 m et 60 m suivant les saisons. En effet, un apport massif de sels (nutriments : phosphates, nitrates, ...) dans la biozone peut provoquer un développement incontrôlé de matières organiques avec diminution de l'oxygène dissout. Ce mécanisme appelé eutrophisation conduirait à la prolifération d'algues (bloom algae) et à la mise en péril des espèces vivantes dans la biozone.

2) La technologie d'extraction proposée doit permettre d'extraire la quantité maximum de méthane du gisement en dépensant le moins d'énergie possible. Il s'agira donc en particulier d'éviter autant que possible le gaspillage de méthane dans les eaux de rejet. Il

sera nécessaire de définir un terme de rendement énergétique (ou coefficient de performance) seuil que les stations d'extraction devront satisfaire.

En complément des deux points détaillés ci-dessus, la réglementation de l'extraction devra aborder d'autres problèmes et notamment l'évolution du risque d'explosion gazeuse du lac au cours de l'exploitation. Ce dernier point sera à examiner en fonction du procédé de rejet des eaux dégazées proposé.

Historique

Un Workshop international sur la surveillance du lac durant l'extraction du méthane a été organisé à Gisenyi en mars 2007 sous l'égide de la World Bank en présence des Ministres concernés du Rwanda et de la RDC. A l'issue de ce Workshop, un « comité d'experts » s'est auto constitué avec pour objectif la rédaction d'un document destiné à réglementer l'exploitation du méthane du lac Kivu.

Ce comité a rédigé un texte dont la version finale datant du 17 juin 2009 a été diffusée sous le titre « Management Prescriptions for the Development of Lake Kivu Gas Resources » ou MPs.

Nous n'étions pas en accord avec la teneur de ces MPs, notamment avec le procédé de rejet des eaux dégazées. Data Environnement a commandé à un bureau d'experts en mécanique des fluides, YLec Consultants, une expertise sur le procédé de rejet proposé dans les MPs. Trois mois après la diffusion des MPs, YLec Consultants a remis son expertise « Exploitation of Lake Kivu Gas Resource - Consequences of the re-injection of degassed water into the Resource Zone, Septembre 2009 ». Ce rapport a confirmé le bien fondé de nos critiques concernant le contenu des MPs.

En février 2011, un nouveau Workshop a été organisé à Gisenyi, regroupant encore les autorités du Rwanda et de la RDC. Nous avons exposé nos critiques concernant le contenu des MPs et évoqué la nécessité de soumettre le problème à une Société indépendante et compétente.

En fin du workshop, le principe de l'expertise par une société compétente des solutions d'extraction de gaz a été approuvé par l'ensemble des participants.

En avril 2011, nous avons diffusé nos propres idées concernant l'exploitation du méthane du lac Kivu sous la forme d'un document (en anglais et en français) : « Textes réglementaires régissant l'exploitation du gaz méthane du lac Kivu – proposition scientifique et technique, avril 2011 ». Ce texte, ainsi que le Rapport YLec Consultants, est disponible sur internet à l'adresse : <http://www.dataenvironnement.com/kivu2011/>

Situation actuelle

On notera que les deux textes proposés sont totalement inconciliables.

Les MPs reposent sur un postulat (dont la raison n'est d'ailleurs pas explicitée) suivant lequel les eaux prélevées dans une couche donnée du lac doivent être rejetées, après dégazage, dans cette même couche : l'extraction ayant lieu dans la ressource, le rejet doit se faire dans la ressource.

Les Textes Réglementaires insistent sur le fait que les eaux de rejet ne doivent en aucun cas être renvoyées dans la ressource. On explique qu'une telle solution aboutirait à une dilution de la ressource (baisse de la concentration en méthane) et donc à une perte rapide de l'efficacité du processus d'extraction et à un gaspillage considérable de la ressource globale de gaz.

Il n'est donc pas possible de trouver une solution médiane entre ces deux technologies de rejet. Il faudra bien choisir l'une ou l'autre des solutions proposées, voire étudier toute autre proposition si elle se présente.

Solution proposée

Une évaluation des deux propositions actuellement existantes pour établir les normes d'exploitation du méthane du lac Kivu est indispensable. Une telle évaluation fait appel à des compétences dans un domaine extrêmement complexe, notamment en ce qui concerne le problème du rejet des eaux dégazées. Il sera nécessaire de trouver des experts spécialisés dans le domaine de la mécanique des fluides adaptée à l'étude des lacs. Par ailleurs, et c'est un point important, il faudra que ces experts soient équipés de moyens de calculs et de logiciels capables de modéliser les courants turbulents, les effets de dilution résultants des mélanges des eaux et les conditions de stratification dans les couches du lac.

Je pense qu'aucun des « experts » qui ont rédigés les MPs, ne prétendra avoir des compétences dans le domaine de la mécanique des fluides (après 25 ans de travail sur les lacs camerounais et sur le Kivu, je considère que je possède certaines connaissances dans ce domaine mais je ne prétendrais en aucun cas postuler au statut d'expert).

Il est probable qu'il soit impossible d'identifier des experts individuels possédant ces compétences et moyens de calculs.

Seules quelques grosses sociétés spécialisées en mécanique des fluides sont capables d'aborder ce type d'étude. Nous pensons que la seule solution pour évaluer les propositions existantes consiste à les soumettre pour expertise à une telle société.

La société choisie pour cette étude sera à même d'examiner les textes disponibles, de faire toute remarque sur leurs contenus, et, bien évidemment, de proposer une autre solution qui lui semblerait mieux adaptée aux objectifs poursuivis.

Contrôle de l'application des Textes Réglementaires

Depuis le premier Workshop de Gisenyi en Mars 2007, le comité d'experts auto-constitué a soulevé le problème du contrôle de l'application des MPs auprès des exploitants du gaz méthane du Kivu. La majorité des membres du comité d'experts a été, de près ou de loin impliquée dans des projets d'extraction du gaz du Kivu. Il nous semble essentiel que le contrôle des Textes Réglementaires soit confié à une structure qui ne comporte aucune personne ayant eu des responsabilités dans des projets d'exploitation du méthane du Kivu. Personnellement, en application d'une telle règle évidente de déontologie, il ne me viendrait pas à l'idée de faire partie d'un comité de contrôle des Textes Réglementaires.

Il semble évident que l'institution d'un comité de contrôle ne peut faire appel qu'à des personnes totalement indépendantes du projet d'exploitation du gaz du Kivu. Nous proposons que cette responsabilité soit confiée à la Société (ou au Bureau d'Etudes) indépendante et compétente qui aura expertisé les Textes Réglementaires.

Conclusion et proposition

Il nous semble indispensable de définir et de mettre en place une réglementation de l'exploitation du gaz méthane du lac Kivu.

Cette réglementation doit être acceptée et officiellement entérinée par les autorités des deux pays riverains.

L'absence d'une telle réglementation ouvrirait la voie au développement anarchique de projets d'extraction par des sociétés sans compétence dans ce domaine et guidées uniquement par des motivations de profits.

On peut dès lors prévoir les conséquences suivantes :

- éventualité de pollution de la partie vivante du lac,
- possibilité de dé-stratification de certaines couches du lac,
- augmentation possible du niveau de risque d'explosion gazeuse,
- quasi-certitude d'un gaspillage considérable de la ressource en gaz.

C'est le destin futur du lac qui est en jeu.

Les trois premiers points évoqués ci-dessus relèvent du choix du procédé de rejet des eaux dégazées dans le lac. Ce procédé de rejet est délicat à traiter et devrait faire appel à une expertise incontestable comme nous l'avons évoqué ci-dessus.

Le dernier point qui touche à l'efficacité du procédé d'extraction relève d'une considération de simple bon sens. Pour éviter le gaspillage de la ressource, il suffit de fixer un seuil de performance que les sociétés impliquées dans l'extraction devront respecter.

Actuellement, après les efforts infructueux qui ont été déployés depuis le Workshop de Mars 2007, la situation semble bloquée et une certaine attitude de découragement semble prévaloir, voire même une position de « mise de côté » du problème (attitude de l'autruche). Cette situation nous semble extrêmement dangereuse pour le projet d'extraction de gaz et pour l'avenir même du lac.

Nous pensons qu'il est possible de trouver une solution raisonnable de déblocage de la situation comportant deux volets, un à très court terme et le second à moyen terme.

- ❖ Fixer dès à présent un seuil de performance à respecter par les sociétés impliquées dans l'extraction, par exemple un rendement de 80 % entre énergie produite et énergie consommée. Ce critère prend en compte la consommation électrique des stations mais surtout le pourcentage de méthane contenu dans les eaux de rejet par rapport aux eaux prélevées (ce pourcentage devrait être inférieur à 20 %).
- ❖ Organiser la demande d'expertise par un Bureau d'Etudes indépendant et compétent pour le choix de la solution de rejet des eaux dégazées comme indiqué précédemment.

ANNEXE

Documents de régulation existants

- ❖ 1) Un comité d'experts constitué sur l'initiative de John Boyle, World Bank, membres du comité : Finn Hirslund, Philip Morkel, Martin Schmid, Klaus Tietze, Johny Wuest
 - Management Prescriptions for the development of Lake Kivu gas resource
17 June 2009 (35 pp.)
 - Prescriptions de gestion pour le développement des ressources en gaz du lac Kivu
17 Juin 2009 (41 pp.)
- ❖ 2) Data Environnement
 - Textes réglementaires régissant l'exploitation du gaz méthane du lac Kivu (32 pp.)
Michel Halbwachs - 23 Avril 2011
 - Regulation ruling the methane gas exploitation at Lake Kivu (32 pp.)
Michel Halbwachs - April 23th 2011
 - Choix du site des concessions d'exploitation (17 pp.)
Data Environnement – Avril 2011
 - Siting concessions for methane exploitation on Lake Kivu (17 pp.)
Data Environnement – Avril 2011
- ❖ 3) YLec Consultants
 - Exploitation of Lake Kivu Gas Resource - Consequences of the re-injection of degassed water into the Resource Zone (86 pp.)
Guillaume Maj, September 2009
- ❖ 4) EAWAG
 - Modelling the reinjection of deep-water after methane extraction in Lake Kivu (35 pp.)
June 2009
- ❖ 5) Kivu Gas
 - Mandatory Technical and Administrative Requirements (30 pp.)
Philip Morkel, July 2009
 - Lake Kivu Concessioning Philosophy (20 pp.)
Philip Morkel, July 2009
- ❖ 6) PDT GmbH
 - Basic Plan for Monitoring, Regulating and steering exploitation of the unique methane gas deposit in Lake Kivu: safely, environmentally soundly and with optimal yield (201 pp.)
Klaus Tietze, 31 May 2007
- ❖ 7) COWI
 - An additional challenge of Lake Kivu in Central Africa – upward movement of the chemoclines (15 pp.)
Finn Hirslund J. Limnol. 71(1), 2012

Remarques sur ces documents

Le document 2 proposé par Data Environnement a été écrit après le Workshop de mars 2011 à Gisenyi, en réponse à la présentation des Mandatory Prescriptions (MPs, documents 1). Il s'agit d'une critique constructive montrant les points faibles et insuffisances des MPs et proposant une solution alternative. On notera que les solutions présentées dans les documents 1 et 2 sont inconciliables. Les MPs postulent que les eaux dégazées doivent être rejetées dans la ressource ; les Textes Réglementaires préconisés par Data Environnement insistent sur le fait que les eaux de rejet ne doivent en aucun cas être renvoyées dans la ressource.

Le document 3 est une analyse scientifique et technique des MPs effectuée 3 mois après parution des MPs par un Bureau d'Etudes spécialisé en Mécanique des Fluides, YLec Consultants. Ses conclusions sont sévères : l'application des MPs conduira inévitablement à une dilution des eaux de rejets dans la ressource et à un gaspillage considérable du méthane contenu dans le lac.

Le document 4, réalisé par l'EAWAG, répertorie l'ensemble des solutions de rejet des eaux dégazées en mentionnant leurs avantages et inconvénients. On notera que la solution proposée par Data Environnement, document 2, est acceptée (solution PR1), bien qu'une des solutions proposées dans les MPs soit préférée (solution RZ6).

Le document 5 rédigé par Philip Morkel est calqué sur les MPs.

La solution présentée dans le document 6 rédigé par Klaus Tietze est totalement différente de la solution préconisée dans les MPs. Klaus Tietze a d'ailleurs refusé de signer les MPs et a demandé par écrit que son nom soit rayé du document 1.

Finn Hirslund, suivant des considérations basées sur la réduction des risques, préconise dans le document 7 de rejeter une partie des eaux dégazées dans le mixolimnion, en contradiction totale avec les MPs.

En conclusion, si nous avons bien compris les positions de chacun, parmi les 5 membres du comité, les MPs :

- sont jugés indispensables par Philip Morkel,
- sont jugés favorablement semble-t-il par les membres de l'EAWAG,
- sont catégoriquement refusés par Klaus Tietze et Finn Hirslund.

Exploitation optimale de la ressource en méthane du lac Kivu

Michel Halbwachs – Data Environnement - le 17 Novembre 2011

Généralités

Le tableau ci-dessous présente une estimation de la capacité de méthane renfermée dans chaque couche.

	Profondeur	Volume d'eau* (km ³)	Volume de méthane (km ³)
IRZ**	60 – 160 m	176	7
PRZ**	160 – 260 m	138	13
URZ	260 – 310 m	49	16
LRZ	310 – 485 m	74	30
Total		437	66

* les volumes d'eau ont été obtenus à partir d'une courbe hypsométrique précise du lac (surface en fonction de la profondeur). Cette courbe a été extraite à partir d'un fichier numérique 3D (Lahmeyer et Osaë) 3D de maillage x,y,z : 5 m x 5 m x 5 m.

** L'IRZ est limitée à 60 – 160 m ; la PRZ a été étendue de 190 – 260 m à 160 – 260 m.

Les autres hypothèses choisies pour notre évaluation sont détaillées ci-dessous. :

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du méthane est pris égal à 36 MJ/Nm³.

Le rendement de l'extraction est supposé égal à 85 %.

On table sur une durée d'exploitation totale du gaz étalée sur 50 ans.

Enfin, on suppose que le rendement de la centrale électrique (rapport de la puissance électrique fournie à la puissance thermique reçue) est égal à 38%.

On va estimer ci-dessous pour différents cas de figure la puissance électrique disponible.

Cas limite idéal : exploitation de la totalité du méthane contenu dans le lac

Volume de méthane disponible : 66 km³

Energie thermique correspondante : $66 \cdot 10^9 \times 36 = 2,38 \cdot 10^{12}$ MJ

Energie disponible par an : $2,38 \cdot 10^{12}$ MJ / 50 ans = $47,5 \cdot 10^9$ MJ/an

Energie disponible à la sortie de la centrale d'extraction : $47,5 \cdot 10^9 \times 0,85 = 40 \cdot 10^9$ MJ/an

Puissance thermique délivrée aux groupes électrogènes : $40 \cdot 10^9 / 365 / 24 / 3600 = 1281$ MW_{th}

Puissance délivrée sur le réseau par la centrale électrique : $1281 \times 0,38 = 487$ MW_{el}

Notre technologie : exploitation de la ressource (URZ + LRZ)

Volume de méthane disponible : 46 km³

Energie thermique correspondante : $46 \cdot 10^9 \times 36 = 1,656 \cdot 10^{12}$ MJ

Energie disponible par an : $1,656 \cdot 10^{12}$ MJ / 50 ans = $33 \cdot 10^9$ MJ/an

Energie disponible à la sortie de la centrale d'extraction : $33 \cdot 10^9 \times 0,85 = 28 \cdot 10^9$ MJ/an

Puissance thermique délivrée aux groupes électrogènes : $28 \cdot 10^9 / 365 / 24 / 3600 = 892$ MW_{th}

Puissance délivrée sur le réseau par la centrale électrique : $892 \times 0,38 = 339$ MW_{el}

On exploite donc $339 / 487 = 69,6$ % de la puissance limite idéale.

Notre technologie : exploitation de la ressource et de la ressource potentielle

Volume de méthane disponible : 59 km^3

Energie thermique correspondante : $59 \cdot 10^9 \times 36 = 2,1 \cdot 10^{12} \text{ MJ}$

Energie disponible par an : $2,1 \cdot 10^{12} \text{ MJ} / 50 \text{ ans} = 42 \cdot 10^9 \text{ MJ/an}$

Energie disponible à la sortie de la centrale d'extraction : $42 \cdot 10^9 \times 0,85 = 36 \cdot 10^9 \text{ MJ/an}$

Puissance thermique délivrée aux groupes électrogènes : $36 \cdot 10^9 / 365/24/3600 = 1145 \text{ MW}_{\text{th}}$

Puissance délivrée sur le réseau par la centrale électrique : $1131 \times 0,38 = 435 \text{ MW}_{\text{el}}$

On exploite donc $435/487 = 89,3 \%$ de la puissance limite idéale.

La méthode d'exploitation de la ressource potentielle permet donc de produire durant 50 ans une puissance de **435 MW_{el}** au lieu de **339 MW_{el}** , soit un gain de **96 MW_{el}** .

La technique d'exploitation de la ressource potentielle permet de gagner 28 % de la capacité énergétique durant l'exploitation totale du méthane du lac Kivu et d'atteindre 89,4 % de la puissance limite idéale.

Proposition d'exploitation préconisée dans les MPs

Absence d'un critère caractérisant l'efficacité de l'exploitation du gaz du gisement

L'omission d'un tel critère est étonnante dans un texte appelé à définir une technique saine, optimale et durable de l'extraction du méthane du Kivu.

Un exploitant qui utilise une technologie gaspillant 60 % du méthane dans les eaux de rejet n'est pas pénalisé par rapport à un autre qui ne renvoie que 15 % de méthane.

Par ailleurs, un exploitant qui utilise pour le fonctionnement de ses installations 25 % de l'énergie électrique produite à partir de l'extraction de méthane de sa station n'est pas pénalisé par rapport à un exploitant qui consomme 0,1 % de cette énergie.

A notre avis, le principal critère de qualité d'une technologie est contenu dans ce paramètre de « rendement énergétique » minimal à respecter par tout exploitant.

La plupart des technologies actuellement en cours de fonctionnement ou en construction vont renvoyer une forte proportion de méthane dans les eaux de rejet. Des simulations montrent que le rendement énergétique résultant de l'application de ces technologies ne devrait pas atteindre la valeur de 50 % (à comparer avec les 85 % de notre technologie).

Technologie préconisée dans les MPs : exploitation de la ressource (URZ + LRZ)

On appliquera un rendement énergétique maximum de 50 %

Volume de méthane disponible : 46 km^3

Energie thermique correspondante : $46 \cdot 10^9 \times 36 = 1,656 \cdot 10^{12} \text{ MJ}$

Energie disponible par an : $1,656 \cdot 10^{12} \text{ MJ} / 50 \text{ ans} = 33 \cdot 10^9 \text{ MJ/an}$

Energie disponible à la sortie de la centrale d'extraction : $33 \cdot 10^9 \times 0,5 = 16 \cdot 10^9 \text{ MJ/an}$

Puissance thermique délivrée aux groupes électrogènes : $16 \cdot 10^9 / 365/24/3600 = 525 \text{ MW}_{\text{th}}$

Puissance délivrée sur le réseau par la centrale électrique : $525 \times 0,38 = 200 \text{ MW}_{\text{el}}$

On exploite donc $200/487 = 41 \%$ de la puissance limite idéale.

Ces 200 MW sont à comparer avec les 339 MW et 435 MW obtenus avec notre technologie dans le cas de l'exploitation de la ressource seule ou de l'exploitation de la ressource et de la ressource potentielle.

L'application de notre technologie permet donc d'extraire environ 1,7 à 2,2 fois plus de puissance électrique par comparaison avec d'autres techniques non optimisées.

En conclusion, la réglementation qui doit être adoptée devra préciser le rendement énergétique minimal auquel devra souscrire tout exploitant.

Des mesures de la concentration en méthane dissous dans les eaux de rejet devront impérativement être effectuées.

Conséquences du rejet des eaux dans la ressource

Nous avons mentionné dans nos Textes Réglementaires

<http://www.dataenvironnement.com/kivu2011/>

quelles seraient les conséquences du rejet dans la ressource des eaux dégazées.

Ce rejet s'accompagnera inévitablement et rapidement d'un mécanisme de dilution des eaux de la ressource (mélange des eaux de rejet avec les eaux de la ressource) accompagné d'une baisse dans le temps du débit d'extraction de gaz pour les centrales d'extraction (cf. Rapport YLec : Exploitation of Lake Kivu Gas Resource : consequences of the re-injection of degassed water into the Resource Zone, septembre 2009, téléchargeable dans le site web ci-dessus).

La baisse de débit au cours de la dilution serait très pénalisante pour les opérateurs des stations d'extraction : par exemple, une station qui a été conçue pour une puissance donnée va se retrouver au cours du temps dans une situation où elle produira la moitié de l'électricité prévue.

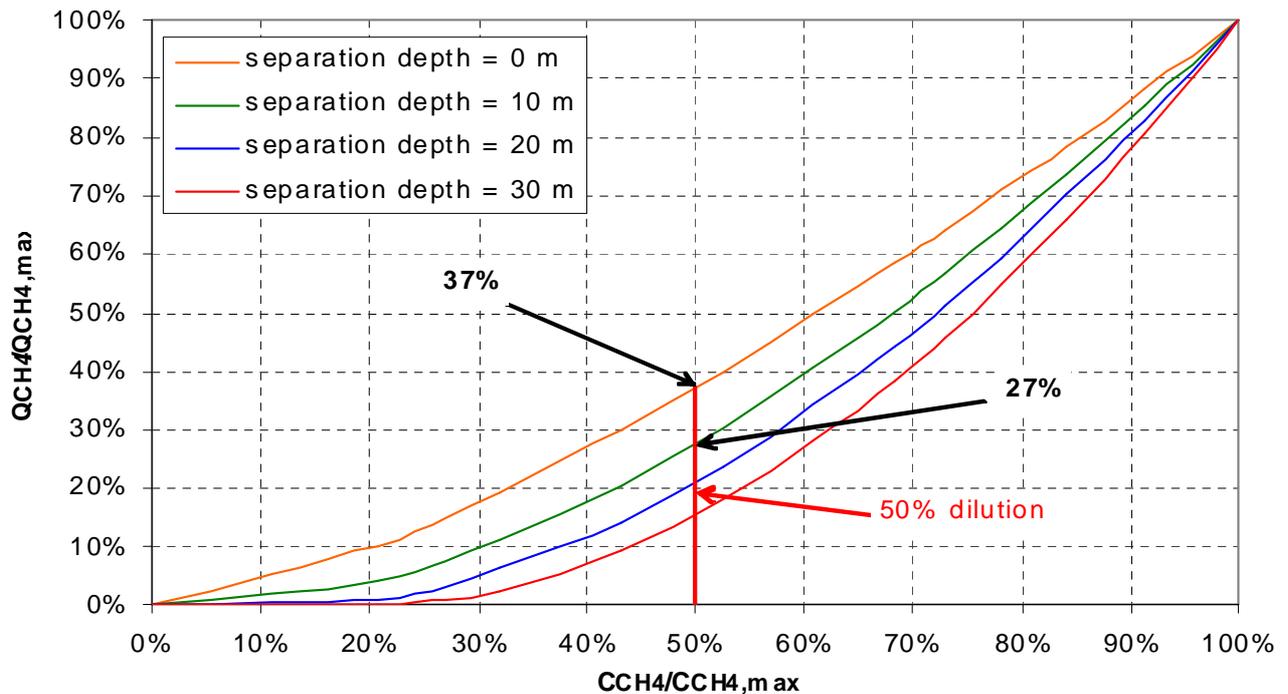
Sur le plan quantitatif, on a porté ci-dessous

- en abscisse la concentration en méthane au cours de la dilution, normalisée par rapport à la concentration d'origine,
- en ordonnée le débit de méthane produit au cours de la dilution, normalisé par rapport au débit d'origine.

Prenons le cas d'un dispositif d'extraction dont le séparateur est situé à 20 m de profondeur, compromis entre la perte en méthane et un taux de vide acceptable (courbe en bleu).

Lorsque le quart de la ressource est exploité (volume d'eau rejeté égal au quart du volume total d'eau de la ressource), l'efficacité d'extraction d'une station se retrouve diminuée de 45 %, soit près de moitié.

Lorsque la moitié de la ressource est exploitée (volume d'eau rejeté égal à la moitié du volume total d'eau de la ressource), l'efficacité d'extraction d'une station se retrouve diminuée par un facteur 5, soit à 20% de son débit en méthane initial.



On a compris que la ressource va perdre progressivement son efficacité jusqu'à présenter les caractéristiques d'une ressource potentielle. L'estimation du stade où la ressource diluée ne devient plus rentable pour l'exploitation fait appel à des critères économiques que nous ne maîtrisons pas et qui resteront toujours largement subjectifs.

On peut choisir une fourchette raisonnable en utilisant les deux situations mentionnées plus haut :

- lorsque le quart de la ressource a été exploitée, le débit des stations d'extraction sera ramené à 55 % du débit initial.
- lorsque la moitié de la ressource a été exploitée, le débit des stations d'extraction sera ramené à 20 % du débit initial.

En suivant les recommandations préconisées dans les MPs, nous avons évalué à 200 MW_{el} la puissance exploitable de la ressource durant 50 ans. Compte tenu du phénomène de dilution causé par le rejet des eaux dégazées dans la ressource, seule une proportion entre 20 % et 55 % de cette puissance sera accessible (avec les inconvénients déjà mentionnés d'une exploitation dont le débit va décroître dans le temps).

La puissance globale exploitable sera alors comprise entre :

$$200 \times 0,2 = 40 \text{ MW}_{el} \text{ et } 200 \times 0,55 = 110 \text{ MW}_{el}$$

On exploite donc entre $40/487 = 8,2 \%$ et $110/487 = 22,6 \%$ de la puissance limite idéale.

CONCLUSION

On retiendra que l'application de notre technologie permet d'obtenir globalement environ entre 4 à 10 fois plus d'énergie que l'application préconisée par les MPs.