

Fluides froids et marges continentales

Auteur : Jean MASCLE
Directeur de recherche CNRS émérite,
Observatoire océanologique de Villefranche, Villefranche-sur-Mer

Résultant d'interactions complexes entre **eau de mer** et activité des **dorsales océanique** et/ou de **volcans sous-marins**, l'**hydrothermalisme marin** est de nos jours un phénomène bien connu et bien étudié (voir les fiches « *Fonctionnement d'un système hydrothermal et formation des minéralisations* » par Y. Fouquet [8] et « *Géochimie des sources hydrothermales* » par N. Le Bris [9]). Sur les planchers océaniques, ce processus se manifeste souvent par de spectaculaires émissions de fluides chauds à très chauds (jusqu'à 400 °C), sous la forme de panaches gazeux (fumeurs noirs ou blancs), et souvent sous la forme de minéralisations ; il entraîne des environnements physiques et géochimiques très particuliers, qui peuvent eux-mêmes permettre l'installation d'écosystèmes spécifiques également très spectaculaires.

Mais il existe aussi en fond de mer, en particulier au sein des **marges continentales**, d'autres types de sorties de fluides, encore peu connues et vraisemblablement plus abondantes que celles issues de l'hydrothermalisme ! Il s'agit de sorties de fluides dits « froids » par opposition, un peu à tort, aux fluides hydrothermaux ; ces fluides peuvent en effet être émis, suivant leur profondeur d'origine, à des températures de plusieurs dizaines de degrés !

Les fluides froids

Comme dans le cas de l'hydrothermalisme, les systèmes de fluides « froids » connus en fond de mer nécessitent l'intervention de trois composantes :

1. la présence en profondeur au sein des sédiments qui recouvrent une marge continentale, de **fluides liquides** ou **gazeux** ; cela peut tout simplement être de l'eau piégée dans les sédiments ou provenant de transformations cristallines ; cela peut être également des fluides gazeux ou liquides, libérés par des systèmes pétroliers profonds, ou encore des gaz d'origine biogénique résultant de la transformation progressive, à faible profondeur dans les sédiments, de matières organiques enfouies et libérant alors surtout du méthane dit « biogénique » ;
2. un « **moteur** » ; dans le cas des marges continentales, le fonctionnement de ce dernier résulte soit de la surpression (et de la compaction) issues de la surcharge sédimentaire (cas des marges passives), soit de la compression tectonique (cas des marges actives), soit enfin d'une combinaison de ces deux mécanismes ;
3. une « **plomberie** », enfin, permettant aux fluides de remonter à travers la colonne sédimentaire et de s'évacuer en fond de mer ; cette « tuyauterie » naturelle est fournie par les nombreuses failles et autres accidents soit au sein des sédiments (instabilités, glissements, diapirisme), soit d'origine tectonique, qui affectent la couverture sédimentaire des marges continentales.

Caractérisations en fond de mer et dans la colonne d'eau

La mise en évidence de l'importance des fluides froids est relativement récente ; elle a été intimement liée aux progrès de l'imagerie géophysique (surtout acoustique), tant du fond de mer (bathymétrie, réflectivité,

sismique) qu'au sein de la colonne d'eau. Les sorties de fluides froids se caractérisent par trois types principaux d'occurrences :

- des **morphologies sédimentaires spécifiques** ;
- la présence d'**amas carbonatés** ;
- enfin celle de **panaches de bulles** décelables au sein de la colonne d'eau.

La plupart des exemples illustrés dans cette fiche proviennent de Méditerranée orientale, où les sorties de fluides froids sont particulièrement abondantes et ont été étudiées en détail au cours des dernières années par des équipes européennes.

Deux grands types de morphologies, et de nombreuses variantes, permettent de bien caractériser les zones de sorties de fluides froids au sein de marges continentales : (1) les « **pock-marks** » (terme consacré issu de la médecine et indiquant une peau grêlée) et (2) les « **volcans de boue** ».

- Sur les fonds marins, les **pock-marks** se manifestent par de petites dépressions souvent en nombre élevé, et pouvant constituer localement de véritables champs (figure 1a). Souvent subcirculaires (figure 1b), de diamètre variable (de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres, voire dans certains cas rares kilométriques), peu profondes (quelques mètres), ces dépressions sont la signature morphologique d'évacuation de gaz par le biais d'une cheminée gazeuse sous-jacente, comme l'illustre le schéma de la figure 1c.

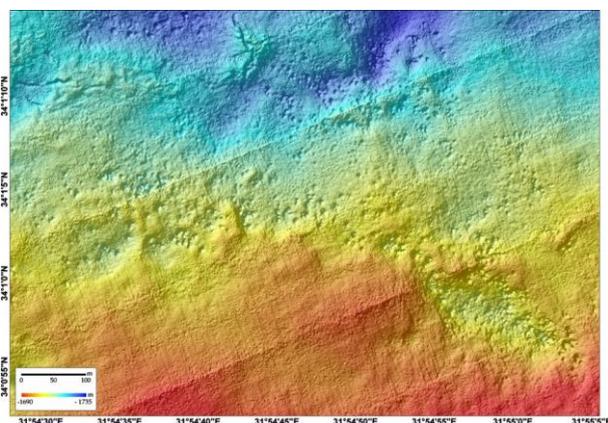


Figure 1a. Un champ de *pock-marks* sur la pente continentale du delta sous-marin du Nil (Masclé *et al.*, 2014 [7])

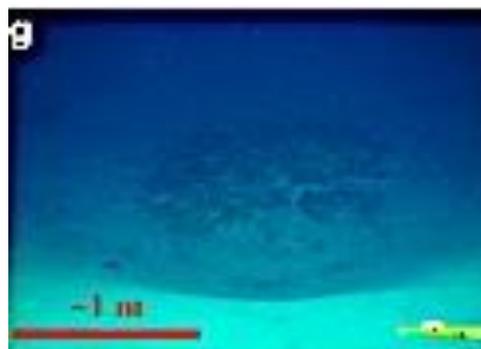


Figure 1b. Vue d'un « *pock-mark* » (Masclé *et al.*, 2014 [7]).

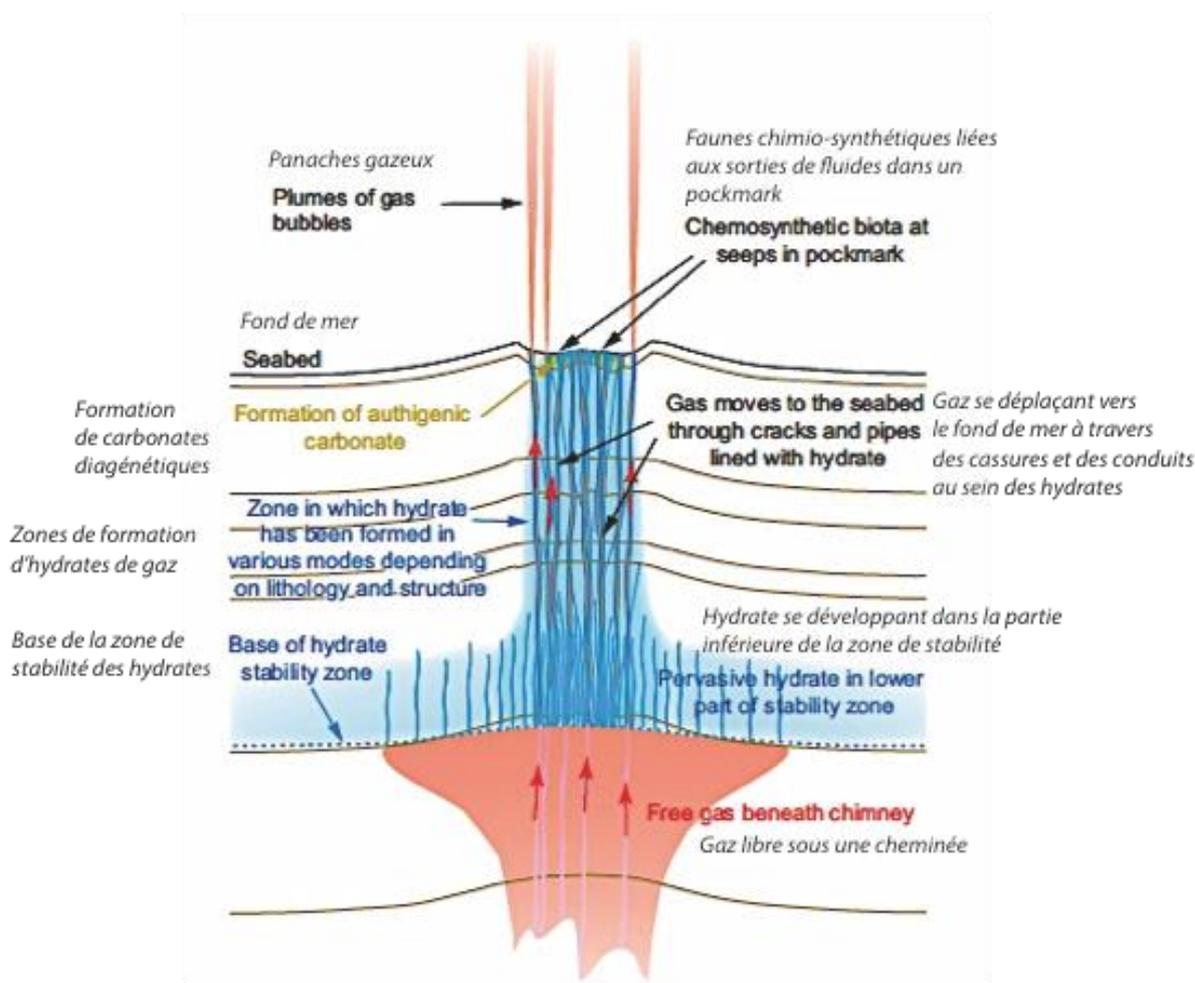


Figure 1c. Schéma illustrant le fonctionnement d'un « pock-mark » (D'après Westbrook, in Foucher et al., 2009 [3]).

- Les « **volcans de boue** » (terme consacré) correspondent, quant à eux, à des structures souvent de dimensions très importantes (quelques centaines de mètres à quelques kilomètres, quelques dizaines de mètres en élévation). Ces édifices s'observent surtout dans des zones à très forte sédimentation, soit sur des marges passives (grands deltas sous-marins par exemple), soit au sein de prismes d'accrétion, accumulations sédimentaires en voie de déformation au front des marges actives. Là, des fluides d'origine profonde (enfouis à quelques kilomètres de profondeur dans les sédiments) et en surpression, migrent par contraste de densité vers le fond de la mer, tout en transportant des particules solides. Les matériaux expulsés sont principalement constitués d'un mélange d'eau, de gaz (méthane en majorité), parfois d'hydrocarbures liquides, de boue et de fragments de roches arrachées lors de l'ascension du mélange dans le conduit. Suivant la dynamique du processus, la quantité et la viscosité des mélanges, ce phénomène peut aboutir à la construction soit de structures coniques évoquant un véritable volcan (figure 2a), soit de morphologies plus douces, communément dénommées « *mud pies* » (gâteau de boue), ou encore à des cheminées gazeuses (« *gas chimneys* ») (figure 2b).

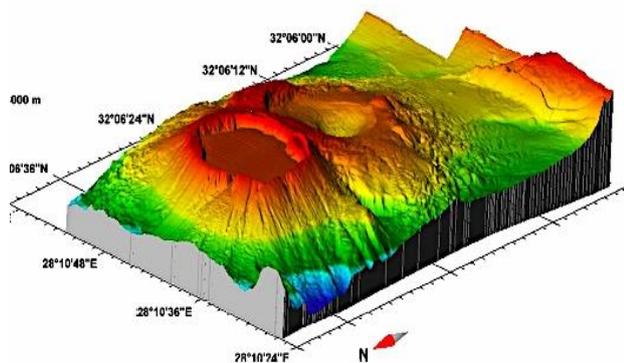


Figure 2a. Deux petits volcans de boue coniques sur la marge égyptienne (Mascle *et al.*, 2014 [7])

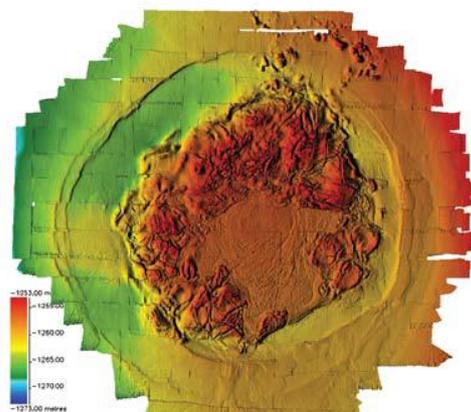


Figure 2b. Le volcan de boue Håkon Mosby. Cheminée gazeuse sur la marge norvégienne (Foucher *et al.*, 2010 [4])

Dans certaines régions caractérisées par la présence en profondeur de dépôts salifères (golfe du Mexique, Angola, Méditerranée orientale) les fluides, en remontant vers le fond de mer, percolent ces dépôts, les remobilisent, et peuvent créer en fond de mer de véritables lacs et rivières de saumures (figure 3).

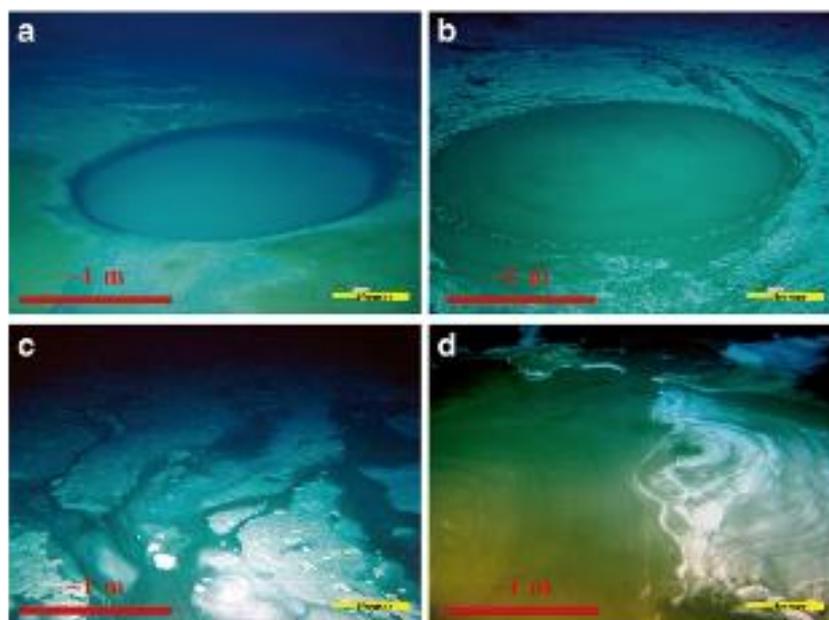


Figure 3. Exemples de petits lacs et de « rivières » de saumures sur la pente continentale égyptienne. (Mascle *et al.*, 2014 [7])

Les amas carbonatés : des amas carbonatés, résultant de l'interaction d'activités microbiologiques (bactéries et archéobactéries) avec le méthane, constituent une autre signature caractéristique de sorties, plus diffuses, de fluides froids en fond de mer. Ces carbonates dits « diagenétiques », proviennent de l'oxydation anaérobie du méthane par des consortiums de micro-organismes, suivie de la précipitation du bicarbonate en résultant au sein de sédiments anoxiques.

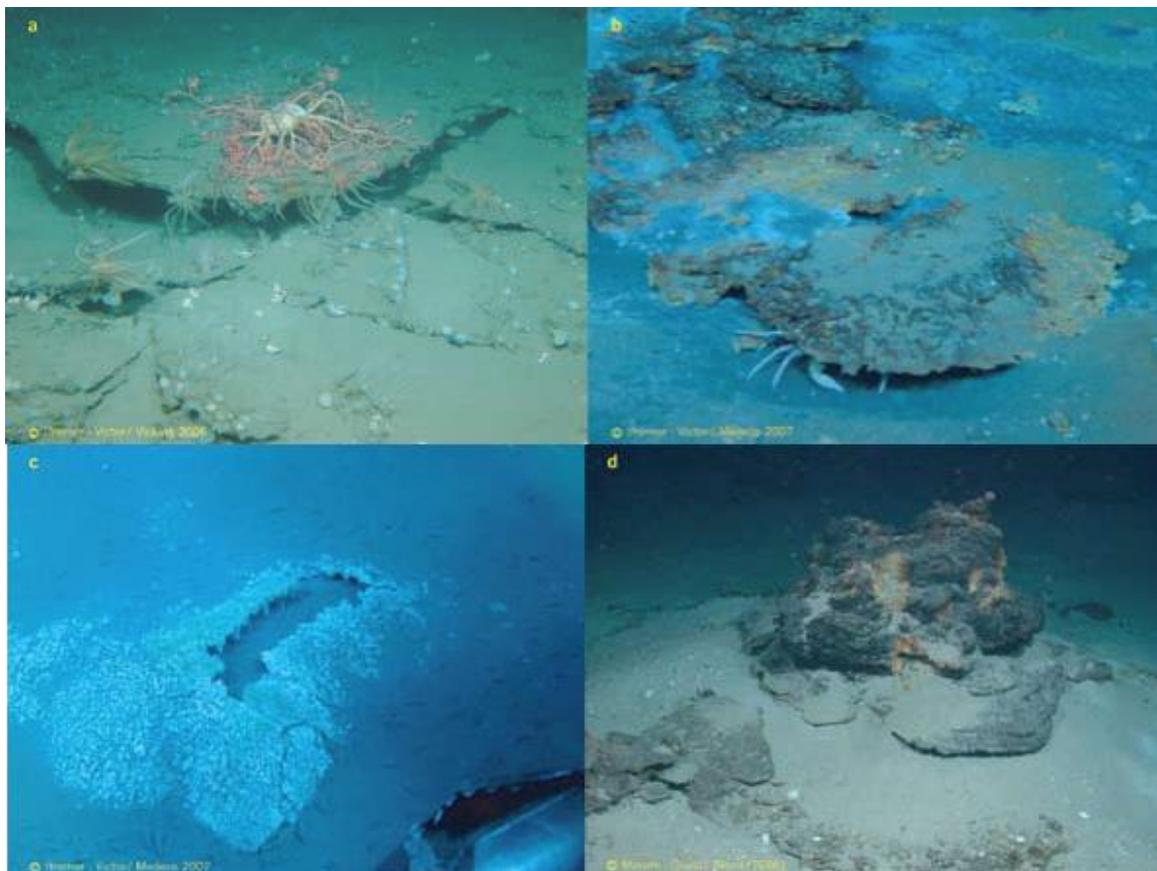


Figure 4. Exemples d'amas et de cheminées carbonatés résultant de l'activité bactérienne au niveau de sorties de fluides. (Foucher *et al.*, 2009 [3])

Bien décelables par les techniques d'acoustique marine, ces amas carbonatés se présentent sous la forme de pavements et encroûtements divers, d'échelle métrique, pouvant recouvrir de grandes surfaces, voire constituer des cheminées carbonatées en forme de champignon et un peu comparables aux amas de minéralisations des systèmes hydrothermaux (figure 4).

Les panaches gazeux : des anomalies produites par des bulles de gaz ascendantes au sein de la colonne d'eau (cf. figure 1c), peuvent également être détectées par des techniques acoustiques et constituent de bons indicateurs de sorties de fluides en fond de mer. Pratiquement inconnus il y a quelques années, tout simplement parce que les enregistrements acoustiques n'étaient pas effectués en routine au sein de la colonne d'eau, et qu'ils soient associés à des pavements carbonatés, à des *pock-marks*, ou encore à des systèmes plus importants comme des volcans de boue, ces panaches de fluides semblent provenir de conduits souvent multiples et étroits.

Localement, les fluides libérés en fond de mer peuvent avoir un important impact sur l'environnement profond et l'installation d'écosystèmes spécifiques ; notamment grâce à des symbioses avec des bactéries (et archéobactéries) dégradant ces fluides, des colonies d'organismes multicellulaires (lamellibranches, polychètes, oursins, crustacés, etc.) peuvent parfois se développer de façon spectaculaire.



Pour en savoir plus :

- [1] Dupré S., Woodside J., Klaucke I., Mascle J. & Foucher J.-P. (2010). Widespread active seepage activity on the Nile Deep Sea Fan (offshore Egypt) revealed by high-definition geophysical imagery. *Mar. Geol.*, 275(1/4), 1-19.
- [2] Dupré S., Mascle J., Foucher J.-P., Harmegnies F., Woodside J. & Pierre C. (2014). Warm brine lakes in craters of active mud volcanoes, Menes caldera off NW Egypt: evidence for deep-rooted thermogenic processes. *Geo-Marine Letters*, 34 (2-3): 153-168. doi:10.1007/s00367-014-0367-1
- [3] Foucher J.-P., Westbrook G.K., Boetius A., Ceramicola S., Dupré S., Mascle J., Mienert J., Pfannkuche O., Pierre C. & Praeg D. (2009). Structure and drivers of hydrocarbon seep ecosystems in the European seas: an overview from HERMES results. *Oceanography*, 22(1), 92-109.
- [4] Foucher J.P., Dupré S., Scalabrin C., Feseker T., Harmegnies F. & Nouzé H. (2010). Changes in seabed morphology, mud temperature and free gas venting at the Håkon Mosby Mud Volcano, offshore Northern Norway, over the time period 2003-2006. *Geo-Marine Letters*, 30, 157-167. doi:1007/s00367-010-0193-z
- [5] Judd A. & Hovland M. (2007). *Seabed fluid flow: The impact on geology, biology and the marine environment*. Cambridge University Press, Cambridge, 455 p.
- [6] Kopf A. (2002). Significance of mud volcanism. *Rev. Geophys.*, 40(2), 1-51
- [7] Mascle J., Mary F., Praeg D., Brosolo L., Camera L., Ceramicola S. & Dupré S. (2014). Distribution and geological control of mud volcanoes and other fluid/free gas seepage features in the Mediterranean Sea and nearby Gulf of Cadiz. *Geo-Marine Letters* (2014), 34, 89-110. doi:10.1007/s00367-014-0356-4

Fiches de l'Institut océanographique :

[8] Yves FOUQUET, février 2014 : Fonctionnement d'un système hydrothermal et formation des minéralisations

<http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1393238135.pdf>

[9] Nadine LE BRIS, février 2013 : Géochimie des sources hydrothermales

<http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1361184811.pdf>