

QUESTION AUX EXPERTS

À quelles profondeurs trouve-t-on du pétrole ?

Les réservoirs exploités se situent entre 600 et 8 000 mètres de profondeur. Mais il existe des gisements plus profonds...

Jacques PIRONON et Raymond MICHELS



En 2009, on découvrait dans le golfe du Mexique un gisement pétrolier sous 1 260 mètres d'eau et atteignant 10 600 mètres de profondeur. La présence de pétrole à une telle profondeur était inimaginable il y a une trentaine d'années. Jusqu'où en trouvera-t-on ?

Le pétrole résulte de la dégradation de débris organiques, essentiellement d'origine végétale, sous l'action de la chaleur. Or la température augmente avec la profondeur, de 30 °C par kilomètre en moyenne. Enfouis au sein d'une roche sédimentaire (la « roche-mère »), les débris organiques se transforment d'abord en un solide carboné nommé kérogène, dont le charbon est une variété, puis donnent soit du pétrole et un peu de gaz (entre 80 °C et 150 °C), soit juste du gaz (au-dessus de 150 °C). On en déduit que le pétrole se forme à des profondeurs comprises entre 2 500 et 5 000 mètres en moyenne (même si, dans certaines conditions, elles peuvent dépasser 8 000 mètres), et le gaz jusqu'à 10 000 mètres.

Les fluides pétroliers migrent à travers les pores et les fractures des roches, en général vers le haut où la pression est plus faible, jusqu'à ce qu'une couche imperméable stoppe leur progression et entraîne leur accumulation dans une roche réservoir. C'est cette dernière que l'on exploite dans le cadre des ressources pétrolières dites conventionnelles. On trouve alors du pétrole dans une large gamme de profondeurs.

L'existence d'un gisement exige d'une part que la roche contienne des pores susceptibles d'abriter les hydrocarbures, d'autre part des conditions thermodynamiques adéquates. Or la porosité diminue avec la profondeur : des chercheurs du Service géologique américain et de l'Université de Liverpool ont montré en 2000 que dans les trois premiers kilomètres, la pression mécanique referme les pores et qu'au-delà, il se produit une compaction chimique, caractérisée par la dissolution des grains rocheux.

Cependant, une étude menée dans notre laboratoire ces deux dernières années a révélé que la présence d'hydrocarbures préserve le réseau poreux, par des effets à la fois mécaniques et chimiques. Par conséquent, les roches peuvent rester assez poreuses pour contenir du pétrole jusqu'à environ dix kilomètres de profondeur, voire un peu plus.

La stabilité dépend de la composition chimique

Outre la question du réservoir, se pose celle de la stabilité thermique du fluide. Au-delà de cinq kilomètres de profondeur, lorsque les températures dépassent 150 °C, on pensait jusque dans les années 1980 que le pétrole se cassait en molécules plus petites sous l'action de la chaleur, finissant par former du méthane et du graphite.

Toutefois, la présence d'hydrocarbures liquides à une grande profondeur (9,6 kilomètres, soit 252 °C) dans un puits américain

contredisait cette idée, qui fut définitivement abandonnée en 1985 lors de la découverte du gisement d'Elgin, en mer du Nord, à 5 500 mètres de profondeur et à une température de 195 °C.

En collaboration avec le Laboratoire Réactions et génie des procédés, à Nancy, nous avons montré que la stabilité thermique du fluide dépend des interactions chimiques des hydrocarbures qui le composent. Un pétrole peut alors être stable à des profondeurs bien plus élevées qu'on ne le pensait – jusqu'à plus de 8 000 mètres (240 °C) pour celui d'Elgin.

Aujourd'hui, les réservoirs exploités se situent entre 600 et 8 000 mètres de profondeur. Aux États-Unis, la profondeur moyenne des puits de pétrole et de gaz est passée de 1 200 mètres dans les années 1950 à 2 100 mètres dans les années 2000. On estime que 15 % des réserves se situent entre 4 500 et 5 000 mètres, et 15 % au-delà.

L'exploitation des gisements profonds, notamment en mer, est rendue possible par l'augmentation du prix du baril. Selon l'*Energy Funds Advisors* (ENFA), les compagnies pétrolières louent parfois les appareils de forage à plus de 800 000 dollars (626 000 euros) par jour ! Et il faut en moyenne quatre mois pour forer jusqu'à 6 000 mètres...

Jacques PIRONON dirige le laboratoire GeoRessources (Université de Lorraine, CNRS, CREGU), à Nancy.
Raymond MICHELS est chargé de recherche au CNRS, au laboratoire GeoRessources.

SCIENCE & GASTRONOMIE

Épinards, salade et aubergine

Par capillarité, les aliments peuvent se gorger de solution aqueuse ou de matière grasse liquide... en surface plutôt qu'en volume.

Hervé THIS



Dans sa *Physiologie du goût*, le juriste Brillat-Savarin parle de « lois éternelles de la nature », dont l'oubli est cause de désastre culinaire. La chimie et la physique donnent d'utiles indications à qui veut cuisiner plus rationnellement qu'en suivant des recettes, et certains phénomènes ont une fréquence d'apparition qui mérite une attention spéciale. La capillarité est l'un d'entre eux.

C'est le phénomène qui permet à l'encre de monter le long des poils d'un pinceau, qui fait monter l'eau d'un verre le long des parois ou qui fait les ménisques (du latin *meniscus*, petite lentille) quand on plonge un tube en verre assez fin dans un liquide. Ce phénomène résulte des forces s'exerçant entre les molécules du liquide et le solide avec lequel le liquide est en contact. Selon les cas, ce sont des forces faibles, telles les forces de van der Waals (qui, par exemple, assurent la cohésion de l'huile liquide), ou des forces plus intenses, telles les liaisons hydrogène. De ce fait, la capillarité présente des intensités différentes suivant les liquides et les solides, mais elle s'exerce aussi bien sur l'huile que sur l'eau.

Depuis la publication de l'*opus magnum* de Brillat-Savarin, les gourmands ont été éblouis par l'œuvre, au point de tenir pour vraies les inventions littéraires qui s'y trouvaient. « On devient cuisinier, mais on naît rôtiisseur. » Vraiment ? Et cette anecdote du « chanoine Chevrier » qui ne mangeait les épinards que lorsqu'ils avaient été cuits tous les jours d'une semaine dans du beurre, qu'en penser ? À quoi peut bien servir de cuire plusieurs jours de

suite des épinards dans le beurre ? Vont-ils vraiment se gorger de beurre ?

Analysons. Les épinards sont du tissu végétal, constitué de cellules, sacs principalement composés d'eau, limités par une membrane (une double couche de phospholipides) et cimentés par la paroi végétale, faite principalement de cellulose et de pectines. Cuire dans du beurre ? D'abord le beurre fond, libérant le petit lait qui vient bouillir au fond de la casserole, puis la chaleur amollit les feuilles, parce qu'elle provoque la « bêta élimination » des pectines : ces polysaccharides perdent des fragments et laissent les molécules de cellulose se séparer ; le « ciment » se dégrade.

Macroscopiquement, on voit alors les épinards s'affaisser, se diviser, mais en aucun cas le beurre ne pénètre dans le tissu végétal. Au mieux, il peut s'introduire par capillarité entre les feuilles. Cuit-on une seconde fois que, à nouveau, le beurre fond, relâchant le petit lait, mais, cette fois, la composante lipidique du beurre ne peut que « diluer » le tissu végétal, qui continuera à se dégrader.

Ainsi, si l'on cuit dans du beurre, on obtiendra progressivement des fragments d'épinards dans du beurre. Pas du beurre frais, toutefois : on sait que le beurre chauffé doucement brunit, devenant d'abord un merveilleux beurre « noisette », dont la composition reste mystérieuse. Si le chanoine Chevrier a effectivement existé, et s'il a cuit les épinards dans du beurre, les épinards se sont moins gonflés de beurre que dispersés par capillarité dans du beurre noisette.

Autre pays, autre mœurs : l'Afrique du Nord raconte l'histoire de l'« imam bayaldi », un

imam qui se serait évanoui quand sa jeune épouse aurait consommé une jarre d'huile d'olive tout entière pour cuire des aubergines. Là encore, même exagération, mais même type de phénomène de capillarité mis en œuvre, car les aubergines sont un tissu fibreux, que l'huile peut venir imbiber en prenant la place que l'eau aurait laissée en s'évaporant : on se souvient que les tissus sont surtout faits d'eau et que cette dernière s'évapore lors des fritures, ce que montrent à la fois les bulles autour d'un aliment frit et la fumée qui s'élève au-dessus de la casserole. Plus généralement, des tissus poreux ou lamellaires, par exemple, sont des proies faciles pour les liquides : pensons à nos éponges !

Quand sont réunies une grande surface de solide et un liquide, les forces de surface provoquent la migration du liquide par capillarité. Ainsi, la vinaigrette de la salade s'insère entre les feuilles quand on tourne l'ensemble. Ce qui est là un avantage devient un inconvénient quand on veut mincir, l'huile s'immiscant tout aussi bien que l'eau. Seul recours possible : limiter la quantité d'huile ajoutée ! ■



Hervé THIS, physico-chimiste, est directeur du Centre international de gastronomie moléculaire AgroParisTech-INRA et directeur scientifique de la Fondation Science & culture alimentaire (Académie des sciences).



Retrouvez la rubrique
Science & gastronomie sur
www.pourlascience.fr

DES GIGA OCTETS DE CULTURE SCIENTIFIQUE À VOTRE DISPOSITION !



OFFRE INTÉGRALE

1 AN • 96 €

16 n°s papier + 18 ans d'archives numériques

**Accès numérique illimité*
+ 1 numéro spécial offert !**

À choisir ci-dessous.



OFFRE EXCEPTIONNELLE « NUMÉRO SPÉCIAL »

À retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe non affranchie à : Groupe Pour la Science • Service Abonnements • Libre réponse 90 382 • 75 281 Paris Cedex 06

☐ **Oui, je m'abonne 1 an au prix de 96 € et reçois 12 n°s de *Pour la Science* + 4 n°s de *Dossier Pour la Science* et bénéficie de l'accès numérique illimité à 18 ans d'archives sur www.pourlascience.fr**

+ En cadeau, à l'occasion de la sortie du nouveau numéro spécial de *Pour la Science*, je choisis 1 numéro parmi les titres suivants :



☐ N° 338 - M0770338
Déc. 2005



☐ N° 350 - M0770350
Déc. 2006



☐ N° 361 - M0770361
Nov. 2007



☐ N° 373 - M0770373
Nov. 2008



☐ N° 385 - M0770385
Nov. 2009



☐ N° 397 - M0770397
Nov. 2010



☐ N° 409 - M0770409
Nov. 2011



☐ N° 422 - M0770422
Déc. 2012



☐ N° 433 - M0770433
Nov. 2013

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

CP : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél. : _____

pour le suivi client (facultatif)

Je choisis mon mode de règlement :

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire

Numéro _____

Date d'expiration _____

Signature obligatoire

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) : _____

Mon e-mail pour recevoir la newsletter *Pour la Science* et accéder aux contenus numériques (à remplir en majuscule).

_____ @ _____

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe *Pour la Science*. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

*Conditions complètes de l'offre sur www.pourlascience.fr