

BIBLIOGRAPHIE

E. Hecht, **Physique**
(chapitre de thermodynamique),
de Boeck, 1999.

lorsque le pilote appuie sur l'accélérateur, il faut un certain temps pour que les gaz d'échappement fassent tourner la turbine de récupération et déclenchent la turbine de précompression. En raccourcissant le circuit du prérefroidisseur et celui de l'échappement, quitte à diminuer un peu l'efficacité du moteur, les ingénieurs ont fortement réduit ce temps.

Cet avantage est renforcé par la présence d'un récupérateur d'énergie placé sur l'arbre du turbocompresseur. Lorsque le pilote ralentit ou n'a pas besoin du turbo, l'énergie des gaz d'échappement est convertie en énergie électrique et stockée dans une batterie, dans la limite réglementaire de deux mégajoules par tour de circuit. Cette énergie peut ensuite être utilisée pour remettre en route le turbo lorsqu'il devient nécessaire et que les gaz d'échappement ne sont pas

encore assez efficaces. Le temps de réponse du turbo étant plus court, le besoin en énergie extraite du récupérateur est limité : comme l'énergie que celui-ci peut restituer ne doit pas excéder quatre mégajoules par tour, on peut utiliser plus souvent ce dispositif.

Cette nouvelle conception de l'intégration du turbo dans le moteur a rendu possibles plusieurs autres améliorations, notamment un nez plus aérodynamique et une boîte de vitesse placée plus à l'avant, d'où un meilleur positionnement du centre de gravité du véhicule. Comme la conception des Formule 1 est figée en début de saison, la concurrence n'a pu cette année que constater les performances des Mercedes, sans pouvoir s'adapter. Gageons que la créativité des ingénieurs sera au rendez-vous l'an prochain pour répondre au défi de la marque allemande. ■



{ Partagez
les savoirs }

**LES
RENDEZ-
VOUS DU
MUSÉUM**

Entrée
gratuite

CONFÉRENCES Cycle : Le Trésor du Muséum

Lundi 3 novembre – 18h :
La minéralogie : des profondeurs planétaires au corps humain
F. Guyot, professeur, minéralogiste, Muséum

Lundi 24 novembre – 18h :
La minéralogie : cristallisation naturelle ou sociétale ?
F. Farges, professeur, minéralogiste, Muséum

UN CHERCHEUR / UN LIVRE Présentation suivie d'une séance dédicaces

Lundi 10 novembre – 18h :
Mort ou vif. Une histoire de la taxidermie française
J. Thiney & J. Vekemans, Éd. La Martinière/MNHN, 2014. Présenté par les auteurs

Lundi 17 novembre – 18h : Roger Caillois anthologie d'une collection
R. Caillois, photographies ; *F. Farges*, Éd. Xavier Barral/Muséum, 2014.
Présenté par *F. Farges*, minéralogiste, Muséum ; lecture des textes par les comédiens de la compagnie du Théâtre du voyageur

FILMS Cycle : Regards sur les zoos

Samedi 15 novembre
– 15h30 : Tant qu'il y aura des bêtes, Réal. : Brassai, 1956, 21 min
– 16h : Bestiaire, Réal. : D. Côté, Canada, 2012, 72 min., dès 10 ans

Samedi 22 novembre
– 15h30 : Programme de films expérimentaux 16 mm
D. Lange, H. Richter, L. Moholy-Nagy, P. Miller, Néozoon, J. Painlevé...
Durée totale : 74 min.

MÉTIER DU MUSÉUM

Dimanche 30 novembre – 15h : Régisseurs audiovisuels
C. Moisson et F. Roturier

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution — 36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

**Au Jardin
des Plantes**

Détails sur mnhn.fr,
dans "l'agenda du jardin"



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 imbibier 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