

Géologie du pétrole

Historique, genèse,
exploration, ressources

Jean-Jacques Biteau

Ingénieur géologue

Ancien directeur de l'arbitrage et du portefeuille
d'exploration de Total

François Baudin

Professeur à l'Institut des sciences de la Terre à l'université
Pierre-et-Marie-Curie (UPMC, Paris)

Préface de Patrick Pouyanné

DUNOD

© Dunod, 2017, 2023 pour la nouvelle présentation
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
EAN 9782100860968

Préface

Géologie du pétrole est plus qu'un livre scientifique parmi d'autres sur le pétrole et les géosciences. C'est un ouvrage très complet sur l'exploration des hydrocarbures et plus particulièrement sur ce qui en est la clé : la compréhension des systèmes pétroliers.

La géologie est d'abord une science de la nature, elle étudie l'espace et le temps : l'observation et l'analyse viennent avant la théorie. Elle évolue en s'enrichissant des travaux successifs rigoureux, des intuitions créatives, de la recherche et... de remises en cause. Il s'agit de comprendre et de décrire ce qui depuis des milliards d'années a progressivement construit notre planète. Les sciences, dites de l'ingénieur, y ajoutent une dimension qui permet de mettre ces connaissances au service de l'homme et de son développement.

Le géologue explorateur utilise les connaissances acquises – celles de ses prédécesseurs et les siennes – mais les talents qui le caractérisent sont son intuition, sa curiosité, son ouverture à l'approche des autres sciences, sa rigueur et... sa patience. La vie d'un explorateur est jalonnée d'échecs et de remises en question. Le plus souvent, ses espoirs, construits après des années de travaux, sont anéantis en quelques jours, voire quelques heures, celles où le verdict du forage est dévoilé : puits sec !..., absence de réservoir, ou de piège, réservoir peu perméable, gaz inerte... L'humilité, la résilience, la passion lui permettent alors de rebondir pour analyser, comprendre, réinterpréter la complexité des gisements sur lesquels il travaille.

Cette passion est nourrie par les instants jubilatoires qui sont ceux du géologue pétrolier : l'instant où il comprend qu'une découverte majeure vient d'être faite. C'est bien sûr la joie de la réussite mais c'est surtout le plaisir et le sens donné à l'effort de participer à une aventure humaine, à la construction de l'histoire d'une grande entreprise et aussi peut-être à celle de l'histoire de l'humanité.

Cet ouvrage retrace l'histoire pétrolière récente avec, en parallèle, l'évolution des connaissances scientifiques et de leurs applications à la prospection des hydrocarbures. La théorie s'efface souvent au profit d'exemples concrets, décrits avec clarté et précision. C'est en effet la pratique qui a façonné le savoir des deux auteurs, tout au long de leurs carrières complémentaires : François Baudin, professeur à l'Institut des sciences de la Terre de Paris (université Pierre-et-Marie-Curie, Paris-VI), vice-président de la Société géologique de France, et Jean-Jacques Biteau, ingénieur géologue, diplômé de l'École nationale supérieure de géologie de Nancy, qui a fait une brillante carrière dans le groupe Total, et dont j'ai pu apprécier le grand professionnalisme à la fois en Angola, où il m'a fait partager sa passion pour l'exploration du fameux bloc 17, mais aussi en tant que dirigeant au sein de la direction Exploration du groupe où il a occupé les fonctions éminentes de responsable de l'arbitrage du portefeuille d'exploration.

Le pétrole a été le pilier du développement industriel du XX^e siècle. Il sera encore un des éléments majeurs du développement au cours du XXI^e siècle, même si d'autres énergies complémentaires, en particulier le gaz et les énergies renouvelables, prendront

plus d'importance au fil des années pour répondre au défi du changement climatique. Cette histoire est jalonnée de grandes découvertes, fruits des travaux et de la passion des équipes, mais aussi de la capacité des industries du secteur pétrolier à intégrer, développer les techniques et leurs applications, permettant de toujours mieux appréhender la complexité de la nature.

Le groupe Total, que j'ai l'honneur et le plaisir de diriger, a contribué à cette odyssée et je veux ici rappeler quelques découvertes clés qui ont marqué son histoire et l'histoire pétrolière et font toujours notre fierté :

- les découvertes en Mésopotamie dans les années 1920 par la CFP (Compagnie française des pétroles) nouvellement créée en intégrant la Turkish Petroleum Company qui deviendra l'Irak Petroleum Company, acte fondateur du groupe Total ;
- la découverte de gaz de Saint-Marcet, près de Saint-Gaudens, en juillet 1939 par la Régie autonome des pétroles (RAP), ancêtre d'Elf puis de Total. Elle fut le résultat de l'étude et de l'observation de nombreux indices (notamment dans le Béarn) d'analogies géologiques avec d'autres chaînes de montagnes où de premières découvertes avaient été faites (Californie, Irak par exemple). Résultat aussi du développement des premières mesures géophysiques et de l'importation du forage *rotary* ;
- la découverte géante de Lacq en 1951, longtemps le plus grand champ de gaz à forte teneur en hydrogène sulfuré, mis en production en 1957, pari insensé d'équipes enthousiastes, portées par l'esprit d'entreprendre et de réussir, bravant l'avis de nombreux spécialistes internationaux effrayés par le défi technologique à surmonter ! ;
- les découvertes géantes de pétrole de Hassi Messaoud et de gaz de Hassi R'Mel en Algérie en 1956 ;
- la découverte en 1956 du gisement plus modeste à terre d'Ozouri, proche de l'île Mandji au Gabon. Elle ouvre la voie à l'épopée offshore du bassin gabonais, au milieu des années 1960, démarrant en Afrique une histoire offshore naissante ailleurs avec la construction de plateformes fixes ;
- l'aventure offshore s'est ensuite poursuivie en mer du Nord, avec la découverte de Frigg en 1971. Pour accompagner les avancées technologiques en matière de construction de plateformes et navires spécialisés, de forage ou encore d'évacuation des hydrocarbures, les investissements se sont progressivement chiffrés en milliards de dollars par opération. Aujourd'hui, 30 % du pétrole est produit en offshore.

En conclusion, j'ai pris plaisir à lire cet ouvrage car il est écrit par des auteurs passionnés par leur métier, qui savent partager leur savoir en l'inscrivant dans une histoire portée par une multitude d'acteurs au rang desquels d'illustres scientifiques et ingénieurs.

Bonne lecture à tous !

Patrick POUYANNÉ
Président-directeur général de Total

Table des matières

Préface	III
---------	-----

Avant-propos	XIII
--------------	------

Chapitre 1 Histoire de l'utilisation du pétrole	1
---	---

1. L'utilisation du pétrole avant la révolution industrielle	1
1.1 Au cours de la Préhistoire	1
1.2 Pendant l'Antiquité et le Moyen Âge et jusqu'au XVIII ^e siècle	2
2. La révolution pétrolière de la seconde moitié du XIX ^e siècle	5
2.1 De la lampe à pétrole au moteur à explosion	5
2.2 La révolution du pétrole « carburant »	8
3. Les étapes de l'industrialisation pétrolière	10
3.1 Production industrielle et création des « majors companies »	10
3.2 Techniques d'exploration et méthodes de prospection	15
3.3 Des années 1950 aux années 1970	16
3.4 Des années 1980 à aujourd'hui	20
3.5 L'avancée des géosciences pétrolières	22

Chapitre 2 Propriétés physiques et chimiques des pétroles	25
---	----

1. Définitions des pétroles	25
2. Nature, composition et classification des gaz naturels	30
3. Nature et origine des gaz non hydrocarbonés	35
3.1 Hélium et autres gaz inertes	35
3.2 Diazote	35
3.3 Dihydrogène	35
3.4 Dioxyde de carbone	36
3.5 Sulfure d'hydrogène	37
3.6 Autres gaz	38
4. Les hydrates de gaz	38

5. Nature, composition chimique et classification des huiles brutes	44
5.1 Couleur, odeur et viscosité	44
5.2 Classification des bruts	46
5.3 Teneurs en autres éléments	47
5.4 Composition moléculaire	48
6. Formes solides de pétrole	52
7. Le cas particulier des charbons	55

Chapitre **3** Conditions physiques des roches et des fluides dans les bassins

57

1. La pression de pore	57
2. La température	64
3. Le rôle de l'eau	65
3.1 L'eau souterraine	65
3.2 Les mouvements des aquifères	66
3.3 Les tilts hydrodynamiques, réels ou apparents	70
3.4 Exemples de cas dans la nature	72
4. Les relations entre les pressions et les températures pour les fluides pétroliers	72
5. La compaction des sédiments, les régimes de contraintes, les pressions normales et anormales	74
5.1 La compaction des sédiments	74
5.2 Les régimes de contraintes	78
6. Les méthodes d'évaluation des pressions des roches	79
6.1 Définitions	79
6.2 Pressions anormales	81
7. Les notions parallèles de capacité et d'intégrité de rétention des roches	82
7.1 Capacité de rétention d'une couverture	82
7.2 Intégrité de la rétention d'une couverture	85
7.3 Domaines respectifs de capacité et d'intégrité des couvertures	87

Chapitre 4 Système pétrolier et chaîne géopétrolière 89

- 1. Qu'est-ce qu'un système pétrolier ? 89
 - 1.1 L'aspect statique d'un système pétrolier 90
 - 1.2 L'aspect dynamique d'un système pétrolier 90
 - 1.3 L'efficacité d'un système pétrolier 91
- 2. Qu'est-ce qu'une roche-mère ? 92
- 3. Qu'est-ce qu'un thème pétrolier ? 93
- 4. Chronologie du fonctionnement du système pétrolier et moment critique 93
- 5. Modélisations numériques 97

Chapitre 5 Génération des hydrocarbures 101

- 1. Les constituants principaux de la matière organique vivante 101
- 2. Les milieux de dépôt favorables à l'accumulation et à la préservation de la matière organique 104
 - 2.1 Mécanismes d'accumulation de la matière organique 104
 - 2.2 La distribution des roches-mères au cours du temps 113
- 3. Les transformations postérieures au dépôt de la matière organique 116
 - 3.1 Diagenèse précoce et formation du kérogène 116
 - 3.2 Les différents types de kérogènes 120
 - 3.3 Le principe de la méthode Rock-Eval® 122
 - 3.4 Diagenèse thermique, phases de catagenèse-métagenèse et génération des hydrocarbures 126

Chapitre 6 Migration des hydrocarbures, couvertures et pièges pétroliers 137

- 1. Les modalités de la migration primaire 137
- 2. La migration secondaire et l'accumulation dans le réservoir 145
 - 2.1 Conditions physiques de la migration secondaire des hydrocarbures 147
 - 2.2 Les aires de drainage 149
 - 2.3 Le réservoir pétrolier 151

3. Les couvertures pétrolières	155
3.1 Identification des intervalles de couvertures	155
3.2 Scellement sur les failles	157
4. Pièges et piégeage	161
5. La préservation des hydrocarbures dans les pièges	164
5.1 Craquage thermique secondaire	165
5.2 Réduction thermique des sulfates	166
5.3 Lessivage par l'eau	167
5.4 Perte ou injection de gaz dans un réservoir	168
5.5 Désasphaltage	169
5.6 Biodégradation des huiles	170

Chapitre **7** Méthodes et outils de l'évaluation pétrolière 179

1. Questions et méthode de raisonnement	179
2. Nécessité de localiser le système générateur	181
2.1 En absence de données de subsurface (exploration <i>frontier</i>)	182
2.2 En contexte d'exploration mature	183
3. La cartographie des cuisines actuelles des hydrocarbures	186
3.1 En absence de données de subsurface (exploration <i>frontier</i>)	187
3.2 En contexte d'exploration mature	189
4. Les méthodes de cartographie des cuisines actives	192
4.1 Le calendrier de migration	192
4.2 Le calendrier de formation du piège pétrolier	193
4.3 La cartographie des cuisines actives	194
5. L'efficacité de la migration des hydrocarbures	196
6. Inventaire des résultats pétroliers	198
6.1 Indices en cours de forage	198
6.2 Indices sur carottes	199
6.3 Échantillonnage de fond de type test au câble: RFT (<i>repeat formation tester</i>), MDT (<i>modular formation dynamic tester</i>)	199
6.4 Échantillonnage de surface de type DST (<i>drill stem test</i>)	199
7. La base de données de puits	199
8. Visualisation des chemins de migration	200

9. Aires de drainage au maximum d'enfouissement	201
9.1 Dans le cas normal	201
9.2 En cas d'inversion structurale	202
10. Estimation et calcul du chargement en hydrocarbures d'un prospect	202
10.1 L'approche standard d'évaluation	203
10.2 L'approche spécifique du chargement en hydrocarbures	203
11. Évolution des capacités génératives en fonction de l'âge des systèmes générateurs	208
12. Rendements globaux des systèmes pétroliers	208
12.1 Définition du rendement d'un système pétrolier (PSY)	208
12.2 Principe de la dotation du <i>yet to find</i>	209

Chapitre **8** Techniques et méthodes de prospection pétrolière 213

1. Le forage pétrolier	213
1.1 Principe opérationnel: techniques et outils de forage	213
1.2 Les fluides de forage	220
1.3 La problématique de la déviation	221
1.4 La problématique de l'échantillonnage et des études associées	223
2. Les diagraphies après forage et en cours de forage	224
3. Les méthodes géophysiques	228
3.1 La gravimétrie et le magnétisme	229
3.2 La sismique réflexion	229
3.3 La sismique 3D	233
3.4 La sismique 4D	237
4. L'évaluation des indices pétroliers de surface	238
4.1 L'évaluation directe par carottage	238
4.2 L'évaluation par les méthodes indirectes	240
5. Les méthodes d'interprétation géopétrolière et leur intégration	241
5.1 De l'exploration à l'appréciation et au développement	241
5.2 Synthèse pétrolière et génération des prospects	244
6. Les méthodes de l'ingénierie réservoir	248
6.1 Mise en production et gestion des réserves	248
6.2 Les hydrocarbures non conventionnels	252

7. Éléments de stratégie d'exploration	252
7.1 Le permis d'exploration	253
7.2 Choix liés à l'exploration	253
7.3 Les suites du puits d'exploration	257
7.4 Critères économiques influençant la stratégie d'exploration	257
7.5 Les partenariats pétroliers	258

Chapitre 9 Exemples de bassins pétroliers caractéristiques 263

1. Explication du choix des bassins pétroliers donnés en exemple	263
2. Exemple de rift suivi d'une évolution en marge passive : le bassin du Bas-Congo	266
2.1 Organisation tectono-sédimentaire et contexte de l'exploration pétrolière	266
2.2 Aspects pétroliers	269
3. Exemple de grand delta : le delta du Niger	279
3.1 Organisation tectono-sédimentaire et contexte de l'exploration pétrolière	279
3.2 Aspects pétroliers	284
4. Exemple de bassin intra-cratonique : le bassin de Paris	291
4.1 Organisation tectono-sédimentaire et contexte de l'exploration pétrolière	291
4.2 Aspects pétroliers	295
5. Exemple de bassin d'avant-pays : les bassins nord et sud-pyrénéens	299
5.1 Organisation tectono-sédimentaire et contexte de l'exploration pétrolière	299
5.2 Aspects pétroliers	301

Chapitre 10 Ressources et réserves d'hydrocarbures 313

1. Définitions et méthodes d'évaluation des gisements	313
1.1 Définitions et méthodes d'évaluation établies dans l'industrie mondiale	313
1.2 Procédures d'évaluation des quantités d'hydrocarbures récupérables	320
1.3 Méthodes déterministes et méthodes probabilistes	322
1.4 Méthodes d'agrégation	322
2. Méthodes d'évaluation des ressources prospectives	323
3. Profils mondiaux d'huile et de gaz	327
4. Notion de <i>yet to find</i>	329

Formules	333
Paramètres dérivés de la pyrolyse	333
Taux de transformation	333
Correction pour maturité	333
Quantité globale d'hydrocarbures	333
Capacité de piégeage d'une couverture	333
Pressions et hydrodynamisme	334
 Conversions d'unités	 335
Multiples et sous-multiples	335
Préfixes américains parfois utilisés	335
Conversions des tonnes en barils et des barils en tonnes	335
Conversions des teneurs en condensats des gaz	336
Conversions gaz en tep ou bep	336
Conversions entre unités métriques et américaines	336
Formules de conversion	339
 Abréviations	 340
 Lexique anglais/français	 341
 Bibliographie	 343
 Index	 361

Avant-propos

Cet ouvrage scientifique est destiné aussi bien aux étudiants de niveau master et aux élèves ingénieurs en spécialités de géosciences pétrolières et minières, de formation francophone, qu'aux professionnels en cours de carrière ou de reconversion pour leur remise à niveau technique et méthodologique.

Il a pour objet de rappeler que le pétrole est une denrée fossile et combustible rare, par nature finie, dont l'exploitation récente à grande échelle est le pilier du développement industriel du XX^e siècle et sera une composante sans doute majeure du XXI^e siècle.

Son utilisation durant le XX^e siècle a effectivement fondamentalement bouleversé la société mondiale sur les plans sociaux, économiques, politiques, sociétaux, environnementaux et stratégiques.

Dans ce livre, cette exploitation industrielle et surtout les méthodes associées ne sont pas traitées, l'accent est mis en revanche, et c'est bien l'objectif essentiel de l'ouvrage, sur la génération des hydrocarbures, sur leur piégeage, sur leur exploration et sur les méthodes d'évaluation des volumes récupérables à différentes échelles, c'est-à-dire en fait au niveau de l'objet unitaire ou du bassin pétrolier, du réservoir à la province pétrolière et jusqu'au niveau planétaire.

Un bassin pétrolier, appelé parfois *province pétrolière* surtout par les Anglo-Saxons, est un bassin sédimentaire réceptacle de roches-mères, de roches qui sont éventuellement réservoirs (appelées aussi *magasins*) et de roches-couvertures, aptes à générer, à expulser par enfouissement et enfin à piéger plus ou moins durablement des hydrocarbures.

Un bassin complètement dépourvu d'hydrocarbures, dès lors que la prospection et les forages pétroliers effectués auront démontré ce constat, sera dénommé *bassin stérile*.

Pétroles et gaz hydrocarbonés se forment à partir de différents types de matière organique liée à la photosynthèse et déposée dans des bassins sédimentaires.

La fraction de matière organique dans les sédiments est appelée *kérogène*.

Les molécules d'hydrocarbures générées, puis soit retenues soit expulsées dans une certaine proportion, se transforment, se déplacent dans le sous-sol et se piègent durablement ou bien se perdent pour disparaître définitivement par dégradation naturelle, c'est-à-dire par lessivage et par action bactérienne.

Cette histoire pétrolière souvent très longue, parfois aussi très courte et généralement très complexe, implique des réactions physico-chimiques (notamment liées à la pression, à la température...) variées au cours des temps géologiques qui seront abondamment discutées et illustrées dans ce qui suit.

Les hydrocarbures qui ont pu migrer sont piégés au terme d'un rendement étonnant mais réel d'un millionième environ par rapport à l'énergie solaire initiale nécessaire à l'établissement de ce que l'on nomme la *chaîne géopétrolière*...

Celle-ci sera traitée en détail dans ce qui suit tant au niveau de ses définitions que des méthodes mises en œuvre pour l'évaluer.

Les chiffres abondent sur les réserves mondiales de pétrole et de gaz.

Par définition, les réserves correspondent aux ressources économiquement récupérables : pour l'huile et le gaz, les réserves ultimes pourraient atteindre 15 000 milliards de barils équivalent pétrole (incluant les hydrocarbures non conventionnels).

Le poids du gaz est très important dans ce chiffre (on peut spéculer sur plus de 200 années de production possible au rythme actuel).

Pour l'huile conventionnelle seulement, on estime qu'il reste à trouver entre 200 et 800 milliards de barils par prospection, sachant que 1 000 ont été déjà produits et qu'il y a 2 000 milliards de barils de réserves et ressources déjà découvertes qui sont encore à exploiter.

Il faut noter pour comparaison que la production actuelle annuelle mondiale d'huile est de 35 milliards de barils.

L'exploration des hydrocarbures, dont on saisit bien la rareté au regard de ce rendement énergétique d'un millionième cité plus haut, se conçoit comme une démarche scientifique organisée autour du concept de système pétrolier, référence de toutes les étapes à intégrer dans la réflexion prospective.

L'exploration pétrolière progresse dans un contexte sans cesse innovant du point de vue technologique et conceptuel, grâce des méthodologies rigoureuses alliées à quelques étincelles de créativité.

C'est par là même le résultat d'une discipline et d'une synthèse intellectuelle personnelle ainsi que nécessairement collective très structurante.

Le métier du docteur en médecine est celui qui se rapproche le plus de ceux des géosciences pétrolières dans leur démarche scientifique mais aussi naturaliste et par l'analogie entre diagnostic médical et diagnostic pétrolier, qui se déclinent aussi bien dans les travaux de généralistes que de spécialistes.

C'est en effet suite à une accumulation d'expériences successives (ce sont des échecs le plus souvent, et fort heureusement aussi quelques succès...) qu'on arrive à trouver puis à extraire cette ressource si précieuse.

En rappelant ce constat explicite, ce livre a pour ambition de tenter de résumer les fondements de ce que devrait être l'excellence de l'école pétrolière française.

L'ouvrage ainsi rédigé doit beaucoup à de célèbres précurseurs en géosciences, souvent très éclectiques dans leurs avancées scientifiques et techniques, tels les Américains Marion King Hubbert et Arville Irving Levorsen, le Franco-Américain Gérard Demaison, le Roumain Georghe Macovei, l'Américain Lesley Magoon, les Français Alain Perrodon, Bernard Tissot et Jean Espitalié, l'Américain Peter Vail, et d'autres moins connus, dont nous ne sommes que les modestes héritiers.

Que ces fondateurs visionnaires (et bien d'autres auteurs, cités en bibliographie) des concepts et des méthodes en géologie ainsi qu'en géodynamique pétrolières soient

donc infiniment salués et remerciés, ainsi que les relecteurs et correcteurs avisés du manuscrit de ce livre.

Ces relecteurs sont respectivement Jean-Marie Masset, Marc Blaizot, André Coajou, Alain Perrodon, anciens ingénieurs pétroliers maintenant retraités et qui ont occupé dans le passé des postes très importants dans l'exploration-production du groupe Total, ainsi que d'autres encore en activité : Françoise Behar, Bernard Seiller, François Tard (Total).

Ces remerciements vont également à la compagnie pétrolière Total, qui compte parmi les cinq IOC (*international oil companies*) majors mondiales, pour avoir financé l'édition de cet ouvrage en couleur ainsi que pour avoir autorisé la parution de certaines des figures utilisées comme supports graphiques dans l'ouvrage.

Un grand merci est aussi adressé à Patrick Pouyanné (Président-directeur général de Total) pour en avoir rédigé la préface.

Les auteurs remercient les éditions Dunod pour leur avoir permis de rédiger et de publier ce livre, notamment les éditeurs Jean-Luc Blanc et Brice Martin pour leurs relectures et corrections du manuscrit ainsi que pour leur accompagnement constant au cours de la rédaction qui a duré un an.

Enfin, il faut saluer le dessinateur Alexandre Lethiers, de l'université Pierre-et-Marie-Curie, Paris-VI, qui a réalisé une bonne partie des illustrations.

Histoire de l'utilisation du pétrole

Introduction

Dans ce premier chapitre, il est question d'histoire au sens large et donc d'évènements liés à l'intérêt de l'humanité pour les pétroles et pour les gaz.

Nous traiterons aussi de l'évolution des techniques, de leur exploration et de leur extraction au fur et à mesure de leurs utilisations industrielles, les deux étant intimement imbriquées.

Objectifs

Rappeler depuis quand les hommes utilisent le pétrole, à quelles époques et dans quelles régions du monde.

Indiquer les principales étapes de la révolution énergétique liée au pétrole.

Détailler les étapes et les progressions technologiques au cours des siècles.

Plan

- 1 L'utilisation du pétrole avant la révolution industrielle
- 2 La révolution pétrolière de la seconde moitié du XIX^e siècle
- 3 Les étapes de l'industrialisation pétrolière

1 L'utilisation du pétrole avant la révolution industrielle

1.1 Au cours de la Préhistoire

Les différentes formes de matières combustibles fossiles (charbons, bitumes, huiles, gaz) sont connues et employées par l'homme depuis des dizaines de milliers d'années.

Il faut citer tout d'abord les utilisations artisanales des **bitumes** durant le **Paléolithique**, en Syrie, plus de 40 000 ans avant notre ère, où l'on retrouve des haches en silex enduites de bitumes.

Du **Néolithique**, on retiendra principalement :

- 5 000 ans avant notre ère, l'usage des bitumes de Mésopotamie pour le calfatage des embarcations (mise en œuvre par exemple par la tribu des Ubaid à l'origine de la civilisation sumérienne, mentionné dans la Bible avec l'Arche de Noé ou le berceau de Moïse) ;

- la réalisation de torches au moyen de roseaux trempés dans des bitumes, les jointures de murettes ;
- l'étanchéification des citernes et des conduites d'eau, ainsi que les pavages des rues.

1.2 Pendant l'Antiquité et le Moyen Âge et jusqu'au XVIII^e siècle

Les dénominations *naft*, en arabe ou persan, *neft*, en hébreu, *nafta*, en slave, dans le nom de certains villages, sont associées à la présence de ces indices pétroliers de surface.

Une autre utilisation des hydrocarbures semi-solides dans l'Égypte antique était d'en enduire les corps des défunts lors de leur momification, tel que cela est décrit dans le *Livre des morts*, pour préparer le défunt à sa nouvelle vie.

Le terme arabe *mumiya* (qui a donné par extension *momie*) s'applique aujourd'hui pour dénommer les bitumes. Ces produits étaient à cette époque importés de la mer Morte en Palestine ainsi que de Judée.

En **Chine**, au IV^e siècle de notre ère, des exploitations et extractions étaient pratiquées à l'aide de tiges constituées de bambous, comme on en trouve aujourd'hui encore au Bangladesh et en Birmanie, en association avec de sommaires et très dangereux systèmes artisanaux d'extraction et de distillation.

Au **Japon**, il est fait mention un peu plus tard, au XI^e siècle, d'«huile de terre» (*petroleum* au sens littéral) dont l'usage courant est ailleurs développé sous forme de pétrole lampant¹ après distillation (comme c'est aussi le cas à **Byzance**).

On retrouve également des utilisations médicales nombreuses et diverses, d'autant plus surprenantes quand on connaît les propriétés cancérogènes des pétroles. Citons par exemple des remèdes contre la toux, pour la réparation des fractures osseuses, contre les troubles digestifs et respiratoires en Mésopotamie. Mentionnons également le nettoyage des plaies avec des pétroles en Chine 200 ans avant notre ère, que la médecine musulmane prolongera plus tard pour traiter des affections comme certaines pleurésies et des œdèmes (en onguents).

Un avatar, développé bien postérieurement à la momification égyptienne, consistera à importer au Moyen Âge en Europe des fragments ou poudres de momies exhumées, depuis l'Égypte, pour les utiliser en pharmacopée courante.

Dans la Bible, il est fait mention des produits bitumineux (Genèse 14, 10 : vallée de Siddim, puits de bitume où tombèrent les rois de Sodome et Gomorrhe ; Exode 2, 1-3 : Moïse, placé dans une corbeille de papyrus enduite de bitume et de poix, sur les eaux du Nil ; Genèse 11, 1-4 : pays de Schinéar, bitume en guise de ciment des briques de la tour de Babel).

1. Il s'agit des pétroles utilisés pour l'éclairage (lampes à huile ou lampes à pétrole).

Encart 1.1 Les feux grégeois

Les asphaltes étaient aussi employés lors de batailles terrestres ou navales pour constituer des projectiles enflammés et explosifs connus sous le nom de **feux grégeois** (ou *feux grecs*). Ils ont été utilisés par les Croisés, puis surtout par les Byzantins ainsi que par les Vénitiens.

Ces redoutables combattants de l'Empire romain oriental étaient les seuls à l'époque à avoir pu mettre au point de savants et secrets mélanges combustibles incluant des résines de gymnospermes, des oxydes de calcium, du soufre et du salpêtre avec des asphaltes et des pétroles plus liquides.

Les feux grégeois, une sorte de napalm médiéval, faisaient régner la terreur par leur caractère explosif et incendiaire, permettant de résister avec succès lors des différents sièges de Constantinople par les royaumes arabes puis ottomans.

L'invention d'une méthode de projection par siphon rendait de surcroît cet armement d'une rare efficacité.

Le secret de fabrication de ces feux grégeois est resté bien gardé et s'est d'ailleurs perdu depuis la prise de Constantinople (ancienne Byzance) par les Ottomans en 1453 malgré toutes les tentatives conçues pour le percer et les recréer.



Figure 1.1 – Représentation des feux grégeois (peinture byzantine extraite de la *Chronique de Skylitzès de Madrid*, XII^e siècle, Biblioteca Nacional de Madrid).

Les **produits gazeux** sont eux aussi connus dès la Préhistoire, notamment en **Iran** ou en **Azerbaïdjan**. Leur manifestation en combustion spontanée au sol avait conduit des adorateurs persans de ces feux à fonder le mazdéisme, religion dite *de Zoroastre* (alias Zarathoustra) environ 1 000 ans avant Jésus-Christ.

Ces phénomènes naturels de combustion des gaz sont également visibles encore actuellement au voisinage de l'agglomération de Bakou, sous forme soit de combustions de gaz sec émanant d'affleurements devenus des attractions touristiques (figure 1.2), soit même d'huiles et de gaz à condensats (fumée bien plus noirâtre) à partir de volcans de boue.