

# 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**

### **NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :**



Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.



Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.



Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70% de nos livres en France et 25% en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.



Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).

# 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<sup>e</sup> siècle. Il sera encore un des éléments majeurs du développement au cours du XXI<sup>e</sup> 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 odyssee 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

<b>Préface</b>	III
<b>Avant-propos</b>	XIII
<b>Chapitre 1 Histoire de l'utilisation du pétrole</b>	1
<b>1. L'utilisation du pétrole avant la révolution industrielle</b>	1
1.1 Au cours de la Préhistoire	1
1.2 Pendant l'Antiquité et le Moyen Âge et jusqu'au XVIII <sup>e</sup> siècle	2
<b>2. La révolution pétrolière de la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle</b>	5
2.1 De la lampe à pétrole au moteur à explosion	5
2.2 La révolution du pétrole « carburant »	8
<b>3. Les étapes de l'industrialisation pétrolière</b>	10
3.1 Production industrielle et création des « <i>majors companies</i> »	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
<b>Chapitre 2 Propriétés physiques et chimiques des pétroles</b>	25
<b>1. Définitions des pétroles</b>	25
<b>2. Nature, composition et classification des gaz naturels</b>	30
<b>3. Nature et origine des gaz non hydrocarbonés</b>	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
<b>4. Les hydrates de gaz</b>	38

<b>5. Nature, composition chimique et classification des huiles brutes</b>	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
<b>6. Formes solides de pétrole</b>	52
<b>7. Le cas particulier des charbons</b>	55

## **Chapitre 3 Conditions physiques des roches et des fluides dans les bassins** 57

<b>1. La pression de pore</b>	57
<b>2. La température</b>	64
<b>3. Le rôle de l'eau</b>	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
<b>4. Les relations entre les pressions et les températures pour les fluides pétroliers</b>	72
<b>5. La compaction des sédiments, les régimes de contraintes, les pressions normales et anormales</b>	74
5.1 La compaction des sédiments	74
5.2 Les régimes de contraintes	78
<b>6. Les méthodes d'évaluation des pressions des roches</b>	79
6.1 Définitions	79
6.2 Pressions anormales	81
<b>7. Les notions parallèles de capacité et d'intégrité de rétention des roches</b>	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

<b>Chapitre 4</b>	<b>Système pétrolier et chaîne géopétrolière</b>	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
<b>Chapitre 5</b>	<b>Génération des hydrocarbures</b>	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
<b>Chapitre 6</b>	<b>Migration des hydrocarbures, couvertures et pièges pétroliers</b>	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

<b>3. Les couvertures pétrolières</b>	155
3.1 Identification des intervalles de couvertures	155
3.2 Scellement sur les failles	157
<b>4. Pièges et piégeage</b>	161
<b>5. La préservation des hydrocarbures dans les pièges</b>	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

<b>1. Questions et méthode de raisonnement</b>	179
<b>2. Nécessité de localiser le système générateur</b>	181
2.1 En absence de données de subsurface (exploration <i>frontier</i> )	182
2.2 En contexte d'exploration mature	183
<b>3. La cartographie des cuisines actuelles des hydrocarbures</b>	186
3.1 En absence de données de subsurface (exploration <i>frontier</i> )	187
3.2 En contexte d'exploration mature	189
<b>4. Les méthodes de cartographie des cuisines actives</b>	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
<b>5. L'efficacité de la migration des hydrocarbures</b>	196
<b>6. Inventaire des résultats pétroliers</b>	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
<b>7. La base de données de puits</b>	199
<b>8. Visualisation des chemins de migration</b>	200



<b>9. Aires de drainage au maximum d'enfouissement</b>	201
9.1 Dans le cas normal	201
9.2 En cas d'inversion structurale	202
<b>10. Estimation et calcul du chargement en hydrocarbures d'un prospect</b>	202
10.1 L'approche standard d'évaluation	203
10.2 L'approche spécifique du chargement en hydrocarbures	203
<b>11. Évolution des capacités génératives en fonction de l'âge des systèmes générateurs</b>	208
<b>12. Rendements globaux des systèmes pétroliers</b>	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
<b>Chapitre 8 Techniques et méthodes de prospection pétrolière</b>	213
<b>1. Le forage pétrolier</b>	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
<b>2. Les diagrapies après forage et en cours de forage</b>	224
<b>3. Les méthodes géophysiques</b>	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
<b>4. L'évaluation des indices pétroliers de surface</b>	238
4.1 L'évaluation directe par carottage	238
4.2 L'évaluation par les méthodes indirectes	240
<b>5. Les méthodes d'interprétation géopétrolière et leur intégration</b>	241
5.1 De l'exploration à l'appréciation et au développement	241
5.2 Synthèse pétrolière et génération des prospects	244
<b>6. Les méthodes de l'ingénierie réservoir</b>	248
6.1 Mise en production et gestion des réserves	248
6.2 Les hydrocarbures non conventionnels	252

<b>7. Éléments de stratégie d'exploration</b>	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

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

<b>1. Définitions et méthodes d'évaluation des gisements</b>	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
<b>2. Méthodes d'évaluation des ressources prospectives</b>	323
<b>3. Profils mondiaux d'huile et de gaz</b>	327
<b>4. Notion de <i>yet to find</i></b>	329

<b>Formules</b>	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
<b>Conversions d'unités</b>	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
<b>Abréviations</b>	340
<b>Lexique anglais/français</b>	341
<b>Bibliographie</b>	343
<b>Index</b>	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<sup>e</sup> siècle et sera une composante sans doute majeure du XXI<sup>e</sup> siècle.

Son utilisation durant le XX<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> siècle, d'«huile de terre» (*petroleum* au sens littéral) dont l'usage courant est ailleurs développé sous forme de pétrole lampant<sup>1</sup> 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<sup>e</sup> 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.



**Figure 1.2** – Gaz en combustion à partir d'un chenal fluvialite dans la région de Bakou (Azerbaïdjan). Cliché J.-J. Biteau, 2008.

Les exploitations étaient connues dans cette région aux confins de l'Empire russe dès le XIII<sup>e</sup> siècle comme a pu en témoigner le grand explorateur vénitien Marco Polo lors de son passage dans la ville de Bakou au bord de la mer Caspienne.

Des émanations permanentes de gaz naturel enflammé seraient aussi à l'origine de Chimère, une créature fantastique malfaisante de la mythologie grecque, hybride avec un corps de lion, une autre tête de chèvre sur le dos du lion et une queue de serpent.

De même, en **Amérique septentrionale et subandine**, les Amérindiens (notamment lors du développement de l'empire des Incas) avaient remarqué la présence d'indices de pétrole en surface (en piémont andin ou en bordure de cratons) et les utilisaient pour le calfatage des embarcations ainsi qu'en médecine.

On signale au XVIII<sup>e</sup> siècle en Europe centrale des exploitations marginales en **Roumanie** (bassin du Danube et des Carpathes), en **Pologne** (Galicie) ainsi qu'en **Alsace**, à **Pechelbronn**, berceau pétrolier français connu dès le Moyen Âge, avec des forages ne dépassant pas 30 mètres de profondeur. Des récupérations en carrières y sont signalées dès le XVI<sup>e</sup> siècle.

Les colons du Nouveau Monde ont employé les indices (sources) de pétrole comme lubrifiant ainsi que pour l'huile des lampes au cours de la célèbre conquête de l'Ouest.

## 2 La révolution pétrolière de la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle

---

### 2.1 De la lampe à pétrole au moteur à explosion

La recherche pétrolière va s'intensifier dans la seconde partie du XIX<sup>e</sup> siècle, en léger décalage avec le pic de l'ère industrielle du charbon.

Le procédé de distillat connu et amélioré pour un passage au stade industriel permet effectivement de substituer le pétrole lampant aux graisses végétales ou animales (huile de baleine en particulier) utilisées jusqu'alors. Il est fort probable que d'une certaine façon ceci a protégé de nombreuses familles de cétacés qui auraient sinon été condamnées par la chasse excessive en vigueur à l'époque.

Les **kérosènes** obtenus à partir de distillats de charbons ou de charbons de bois vont vite devenir obsolètes pour l'utilisation en éclairage. En effet, le bien surnommé James «Paraffin» Young confirme la méthode mise au point entre 1830 et 1834 en **Grande-Bretagne** sur des charbons de bois, en utilisant en 1847 de l'huile récupérée d'une mine de charbon à Riddings. C'est d'ailleurs aux alentours de cette bourgade qu'à la fin de la Première Guerre mondiale sera découvert le premier champ d'huile de Grande-Bretagne métropolitaine, Hardstoft, à proximité d'un indice pétrolier de surface. James Young présente ses produits raffinés (pétrole lampant, lubrifiants, et cires pour les bougies) à la reine Victoria lors de l'exposition de Londres en 1851 et emploie comme pour le charbon de bois le terme de *paraffines* et non de *kérosènes*, nom qui resté jusqu'à aujourd'hui dans le langage courant au Royaume-Uni.

Après cette nouvelle technique d'éclairage, une seconde révolution sera l'invention du moteur à explosion, qui va sonner petit à petit la fin du règne du «tout charbon» dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle.

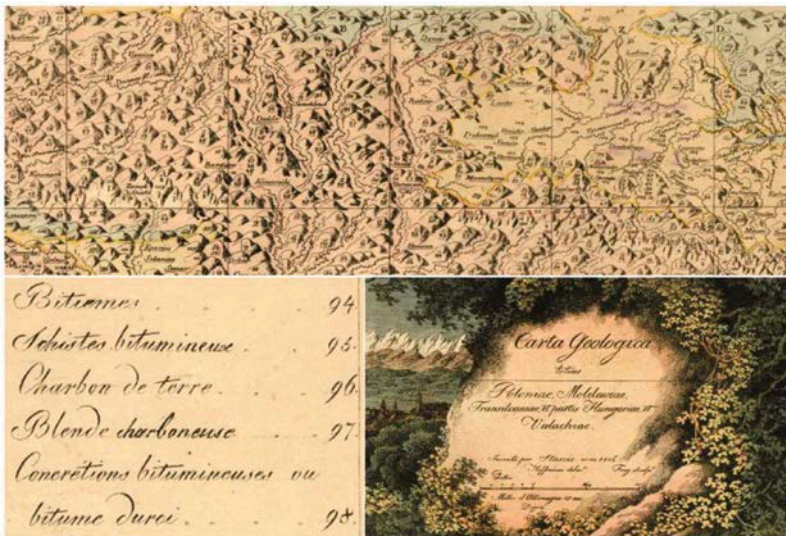
Dans le même temps, l'industrie du gaz naturel naissait et se développait. Le premier réverbère du monde (au gaz de charbon) fut installé à Londres en 1807 et le premier puits de gaz naturel aux États-Unis fut foré en 1821 dans l'État de New York par William Hart, à la suite de l'observation de bulles remontant à la surface de l'eau d'un ruisseau. La première société gazière connue fut la Fredonia Gas Light, établie en 1858, et le premier gazoduc fut construit en 1891. D'une longueur de 160 kilomètres, il reliait la ville de Chicago à un réservoir de l'Indiana.

À la même époque, à Autun en **France** débute l'exploitation de schistes bitumineux permien avec des procédés de distillation importés de Grande-Bretagne ou des États-Unis.

C'est alors aux **États-Unis** que, forts du potentiel industriel et commercial de la distillation, ou raffinage, de pétrole lampant, George Bissell et Jonathan Eveleth créent la compagnie pétrolière Pennsylvania Rock Oil Company (PROC) en 1855.

En **Roumanie** à la même époque, se substituant aux installations marginales de la période précédente, la première raffinerie est fondée en 1857 à Ploiesti. La ville de Bucarest en profite aussitôt pour s'équiper d'un réseau d'éclairage public d'au moins mille lampadaires, alors que la production de pétrole brut débute de façon industrielle.

En **Pologne**, la production démarre en 1853 en Galicie à Bobrba, un territoire vite baptisé *la porte de l'enfer* du fait de l'anarchie des exploitations pétrolières artisanales et du brigandage acharné. La relation entre les anticlinaux de surface et la présence d'indices et de gisements d'huile (la théorie anticlinale que les Américains revendiqueront comme leur invention) y est vite établie et la cartographie de surface ainsi que les corrélations des forages sont entreprises à grande échelle dans toutes les Carpathes polonaises et au-delà (figure 1.3).



**Figure 1.3** – Exemple de cartographie de surface en Pologne: *Carta Geologica totus Poloniae, Moldaviae, Transylvaniae, Hungariae et Valachiae*, 1806, de Stanisław Staszic (1755-1826). Conférence « European Oil and Gas History », Londres, mars 2016.

Aux **États-Unis d'Amérique**, la PROC est rebaptisée la Seneca Oil (du nom d'une tribu indienne locale) et recrute comme prospecteur le « Colonel » Edwin Drake, qui est un employé des chemins de fer.

Le **premier puits** financé par la nouvelle compagnie est foncé en 1859 jusqu'à 69 pieds et demi de profondeur (soit 23 mètres, atteints le 27 août de cette année-là). Il se trouve en Pennsylvanie à Titusville, au lieu-dit Oil Creek dans un bassin paléozoïque connu aussi pour ses énormes réserves de charbons carbonifères et pour ses suintements pétroliers de surface.

Ce puits débite **8 à 10 barils** de pétrole par jour. Par la suite trois millions de barils sont produits durant l'année 1862 aux seuls États-Unis. Pour mémoire, en 2015, la

production annuelle mondiale a été de 32,85 milliards de barils, soit 11 000 fois plus. On mesure bien là le chemin parcouru en 150 ans !

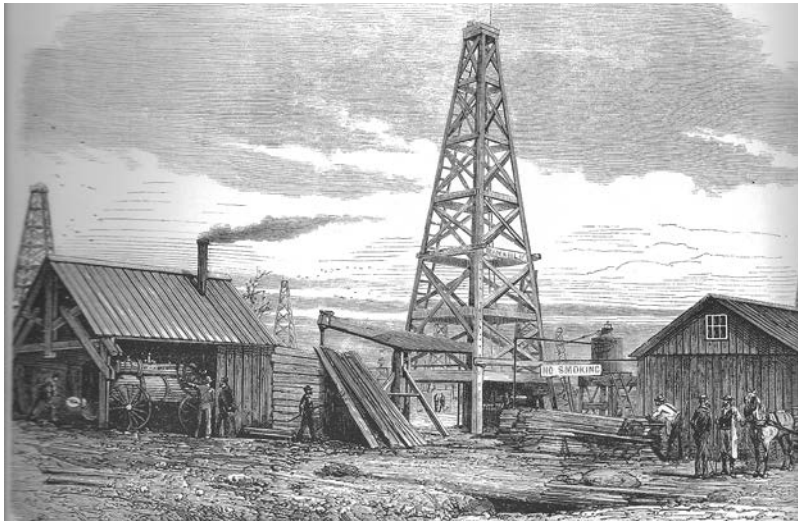
En 1854, après Abraham Gessner aux États-Unis, qui est avec le Britannique James Young à l'origine du distillat de pétrole lampant, l'Américain Benjamin Silliman réalise, à partir d'un échantillon de surface collecté par Edwin Drake à Titusville, les premières **coupes de raffinage** pétrolier. Il sépare ainsi des produits lourds de produits plus légers, permettant ainsi d'aller bien au-delà de la production des pétroles lampants pour le seul éclairage public ou privé et de produire également des goudrons, des lubrifiants, des solvants...

Il valide ainsi la qualité du brut de Titusville, conduisant au premier forage et au premier succès pétrolier.

En 1863, **John D. Rockefeller** crée la première raffinerie en Pennsylvanie à Cleveland.

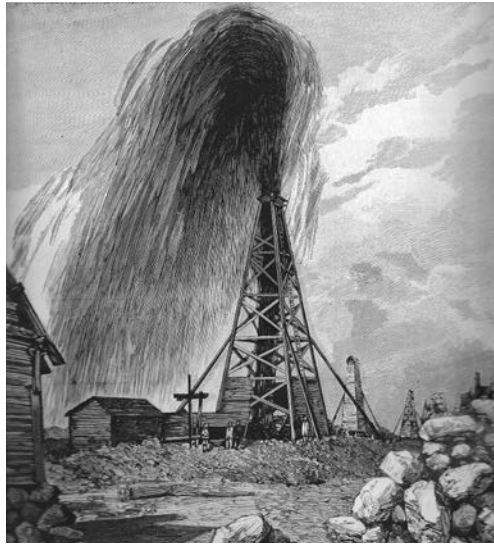
Sa compagnie nommée la Standard Oil détient le monopole américain du raffinage en 1895. Cette société, essentiellement de distribution de produits pétroliers éclatera ensuite en 34 sous-compagnies. Elle sera la mère fondatrice des compagnies « majors » américaines, Exxon, Mobil et Chevron... Ce sont là trois des compagnies géantes parmi celles qu'on appellera les *sept sœurs* dont les dirigeants, réunis pour une partie de chasse au coq de bruyère en Grande-Bretagne en 1928, s'étaient partagé le monde pétrolier (Standard Oil of New Jersey, Standard Oil of California, Texaco, Anglo-Persian Oil Company, Gulf, Mobil et Shell).

À cette époque, c'est bien la présence d'**indices pétroliers de surface** de toute nature qui demeure le guide des implantations de forages de façon empirique, ou quasi minière si on peut dire, pour caractériser cette ruée vers l'or noir (figure 1.4).



**Figure 1.4** – Derrick aux États Unis à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (Corry – OilCreek, Pennsylvanie). Gravure extraite du journal *L'Illustration*.

À **Bakou**, dans l'**Empire russe**, la famille **Nobel** va faire fortune et implanter aussi des exploitations à grande échelle vers 1870 (premier «derrick fontaine» en 1879; figure 1.5). Elle fabrique également le premier oléoduc ainsi que le premier navire de transport au travers de sa filiale appelée Branobel, firme qui sera ensuite nationalisée en 1920 par l'URSS.



**Figure 1.5** – Région de Bakou au XIX<sup>e</sup> siècle (années 1885-1891).

Gravure extraite du journal *L'Illustration*.

Il s'agit d'un puits éruptif artésien situé dans la chaîne du Caucase, non loin de Bakou, à Balakhany, où l'on compte 400 puits de pétrole. Le jet a atteint une fois la hauteur de 115 mètres. La pluie de pétrole est recueillie dans des canaux puis des fosses, pour être ensuite acheminée à Bakou par un pipeline de 8 kilomètres.

Du point de vue technique, les **forages** sont opérés à cette époque avec des machines fonctionnant au charbon et à la vapeur. On peut observer que Drake n'avait pas conçu d'innovation majeure pour cette technologie du forage confortée à Bakou dès 1854 par les Russes et basée à l'époque sur le mouvement d'un balancier et un fonçage par un trépan attaché au bout d'un câble (sans rotation du trépan).

L'invention de l'ampoule électrique en 1879 aurait pu mettre à mal, voire freiner, cet essor pétrolier qui reste au stade de « cueillette ».

Mais il n'en est rien grâce à l'invention du **moteur thermique** (moteur à explosion), qui va changer la donne.

## 2.2 La révolution du pétrole « carburant »

C'est en effet en 1862 qu'**Alphonse Beau de Rochas** présente le principe du moteur thermique, ou moteur à combustion interne, dont un premier prototype est proposé la même année par **Étienne Lenoir**. En 1885, l'allemand **Karl Benz** commercialise la



première voiture automobile mise au point par Daimler. C'est le début de la «révolution mobile», qui entraîne une consommation sans cesse accrue de pétrole raffiné aussi bien sur le continent européen que sur le continent américain. En 1893, la France compte 200 automobiles, et 3 000 en 1900... La diffusion est vertigineuse et la Première Guerre mondiale va encore l'amplifier avec le développement des premiers véhicules militaires à moteur (notamment les chars d'assaut).

Dès lors, les recherches d'hydrocarbures s'accroissent en même temps que les techniques des géosciences évoluent vers les méthodes et les outils de l'exploration et de la production modernes.

Deux pôles géographiques industriels majeurs rivalisent alors à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle :

- les États-Unis avec Rockefeller, qui a privilégié la distribution<sup>1</sup> à l'extraction, qu'il a laissée aux prospecteurs très nombreux et adeptes de cette ruée désordonnée vers l'or noir ;
- l'Empire russe, avec la famille Nobel pour l'extraction et le transport, qui a été ensuite rejointe par les célèbres **Rothschild** (branche française) qui vont développer le transport ferroviaire et rivaliser ainsi avec les Nobel.

On peut rappeler que le non moins célèbre Joseph Staline, de son véritable nom Joseph (Iossif) Vissarionovitch Djougachvili, après avoir été renvoyé du séminaire où il suivait ses études de prêtre entre 1888 et 1899, travailla quelque temps pour les Rothschild dans leur raffinerie de Bakou. Il continuera d'ailleurs plus tard à avoir des rapports ambigus avec eux du temps de l'Union soviétique et lors de son pouvoir sans partage.

Au final, trois conglomérats capitalistiques se répartissent le marché pétrolier à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle : l'Américaine **Standard Oil**, essentiellement pour le raffinage (future Mobil qui fusionnera à la fin des années 1990 avec Exxon, l'ex-Standard Oil of New Jersey), et les compagnies européennes **Nobel** et **Rothschild**.

La commercialisation des produits pétroliers de Rothschild sera à l'origine d'une association avec la **Shell**, une compagnie créée en 1892 par Marcus Samuel avec son emblématique coquille Saint-Jacques (puisque'il s'agissait au départ d'une firme d'importation de coquillages d'Extrême-Orient). Elle deviendra par la suite **Royal Dutch-Shell** par une fusion anglo-néerlandaise en 1907.

---

1. Cette situation monopolistique provoquera d'ailleurs son démantèlement ultérieur en vertu de la loi anti-trust en 1911 après pratiquement une décennie de procès.

## 3 Les étapes de l'industrialisation pétrolière

### 3.1 Production industrielle et création des « majors companies »

Alors que la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle avait vu la recherche de pétrole démarrer à un niveau préindustriel dans des périmètres alors restreints aux États-Unis et à l'Europe centrale et continentale, le XX<sup>e</sup> siècle fut à la fois celui de la diversité des terrains de chasse, de l'évolution technologique tous azimuts, en surface, en subsurface et bien évidemment aussi celui d'avancées dans les géosciences.

C'est le début de la révolution du « tout pétrole » : en 1900 le pétrole ne couvrait que 4 % des besoins énergétiques de la planète, et la moitié était produite en Russie près de Bakou (Azerbaïdjan actuel).

On passe alors rapidement de la phase de cueillette à celle de la production industrielle sous la houlette de compagnies privées et des différents États qui comprennent très vite l'aspect stratégique de l'accès aux ressources pétrolières.

#### Encart 1.2 Forage rotary

Dans le domaine du forage pétrolier se développe la méthode appelée *rotary* (cf. chapitre 8) inventée et développée par **Howard Hughes Sr** en 1909. Elle consiste à faire tourner un trépan disposé à l'extrémité de tiges mises bout à bout et prend le relais (en améliorant grandement les performances) de la technique de forage au câble ou dite *de battage*, qui devient obsolète pour les forages pétroliers classiques dans les années 1930. Grâce à la technique *rotary*, des profondeurs de plus en plus importantes peuvent être atteintes. Les durées de sondage et donc les coûts associés sont ainsi singulièrement réduits pour extraire et exploiter pétroles et gaz.

Aux terrains de chasse américain, russe, polonais, roumain, voire indonésien (sous l'impulsion de la naissante Royal Dutch et avec l'appui de la puissance coloniale néerlandaise implantée à Sumatra et Bornéo) va venir s'ajouter au tout début du XX<sup>e</sup> siècle la province prolifique du **Moyen-Orient**.

C'est tout d'abord dans l'Empire perse, où l'on connaît des indices de surface en grand nombre en particulier sur les grands plis anticlinaux de la chaîne du Zagros. Les recherches démarrent sous l'impulsion de deux aventuriers, William Knox d'Arcy et George Reynolds, mais ils mettront sept ans à parvenir à la première découverte, celle de Masjid-i-Suleinam. George Reynolds, peu soucieux des ordres de ses bailleurs de fond, avait d'ailleurs été licencié par ceux-ci, mais il avait déjà commencé le forage de cette découverte avant que la notification lui parvienne. Il fut quand même renvoyé.

Un autre évènement va favoriser l'éclosion du « tout pétrole », c'est le passage en 1911 au pétrole raffiné comme **carburant de la marine de guerre britannique** (la Royal Navy, alors dominatrice sur les mers du globe) qui utilisait jusqu'alors le charbon comme combustible de ses bateaux mus par des moteurs à vapeur. Cette décision sera une étape décisive. Elle fut prise par le célèbre Lord de l'Amirauté Winston Churchill, qui avait été nommé à ce poste prestigieux à tout juste 36 ans.

Pour exploiter cette découverte iranienne et obtenir des produits pétroliers de façon indépendante, la compagnie Anglo-Persian Oil Company (APOC) est créée en 1913, avec une prise de participation de 51 % par le Royaume-Uni en 1914 (en échange d'un accord d'approvisionnement garanti pour la Royal Navy pendant vingt années).

Cette initiative crée une situation où deux sociétés anglaises sont présentes et concurrentes sur les marchés : la Shell, à capitaux privés comme on a vu plus haut, et cette APOC, l'ancêtre de la **British Petroleum**, dont la création date de 1954 et qui figure toujours avec Shell parmi les « majors » actuelles.

Au Royaume-Uni, la découverte du gisement intra-dinartien (Carbonifère) terrestre de Hardstoft en 1919 sur un anticlinal de surface participera de cet effort d'accès à la ressource pétrolière, en métropole cette fois et non plus seulement hors des frontières de l'Empire britannique.

L'expansion sans égale du moteur thermique et l'industrialisation automobile, navale et aérienne, à la faveur notamment de la Première Guerre mondiale, comme indiqué plus haut, vont faire exploser la demande en pétrole si bien d'ailleurs que, en termes géopolitiques, les cartes des alliances nouées avant le conflit mondial seront ensuite rebattues au profit des vainqueurs.

Aux États-Unis, la ruée vers l'or noir s'est déplacée de la Pennsylvanie, dont les gisements de faible extension se tarissent rapidement, vers le Texas avec la découverte en 1901 de **Spindletop**, grâce à un certain Patilo Higgins.

Ce dernier implante le puits de Spindletop sur une légère anomalie topographique présentant un indice de gaz en surface (bullage). Il lance ainsi la chasse aux structures évaporitiques : en l'occurrence, ce puits est situé sur le *cap-rock* (c'est-à-dire le sommet, souvent réservoir – par la présence de brèches carbonatées – d'un dôme de sel).

À cette époque commence aussi à se répandre l'utilisation de la boue comme fluide pour refroidir l'outil de forage en rotation (générateur de frottements) et pour faire remonter les déblais en surface, autre progrès technologique très significatif.

Le puits de Spindletop débite le 10 janvier 1901 au rythme de 100 000 barils d'huile par jour à partir d'un niveau réservoir rencontré à 310 mètres. La compagnie **Texas Fuel Company** est créée à cette époque (c'est la **Texaco**) ; elle fusionnera beaucoup plus tard, en 2001, avec Chevron, **ex-Standard Oil of California**, l'une des sociétés démantelées de l'empire Rockefeller

De 1901 à 1905, on découvre de nouveaux pétroles non seulement au Texas, mais également en Californie et en Oklahoma...

### Encart 1.3 La « creekology »

En Pennsylvanie, les prospecteurs avaient remarqué que les indices pétroliers et les gisements se situaient souvent au bord des rivières. Ils avaient donc adopté pour leurs implantations de forages ce concept de « **creekology** ».

En fait il s'agissait d'anticlinaux érodés et décapés au niveau du lit des fleuves jusqu'à des gisements d'huile parfois lourde car biodégradée (cf. chapitres 2 et 5). Les taux de succès des ouvrages pétroliers atteignaient des valeurs de 80 à 90 % pour ce type de localisation très prolifique. On pourra noter qu'à proximité du gisement espagnol d'Ayoluengo (cf. chapitre 9) se situent d'anciennes exploitations de bitumes sur un tel anticlinal décapé par le lit d'une rivière.

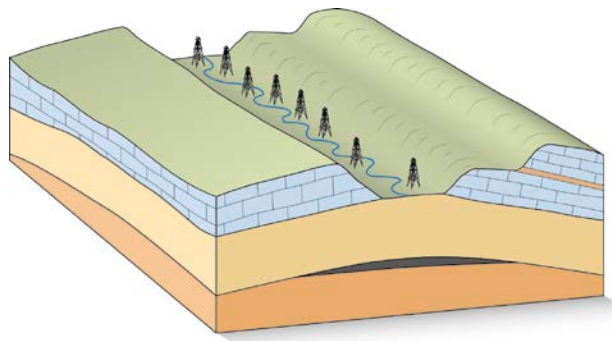


Figure 1.6 – Principe de la « creekology ».

Au **Mexique**, en 1908, la catastrophe du puits de Dos Bocas<sup>1</sup> fait mesurer le caractère dangereux des explorations pétrolières quand on en maîtrise mal les pressions de fond (cf. chapitre 3), même si la couche éruptive ne se trouve qu'à 556 mètres dans ce cas précis.

Dans la même période, des gisements sont découverts au **Venezuela**, un pays pétrolier américain majeur comme le Mexique, notamment grâce à la Shell qui opère sur le lac de Maracaïbo.

Le champ de pétrole lourd de Zuata (dans ce qui est appelé la *ceinture bitumineuse de l'Orénoque*) est découvert en 1938.

Le **Canada occidental**, dans la région d'Edmonton-Calgary, n'est pas en reste dès 1913. Il en est de même en **Colombie** et au **Pérou** pour l'Amérique du Sud.

Au **Moyen-Orient**, l'impulsion donnée par l'Iran se poursuit dans d'autres pays. Dans les années 1920, la production pétrolière se développe en **Irak** sous l'impulsion à parité des compagnies britanniques, d'un conglomérat de sociétés américaines dont la Standard Oil of New Jersey et de la **Compagnie Française des Pétroles (CFP)**

1. Il s'agit de la première éruption d'hydrocarbures mortelle de l'histoire, avec deux mois d'échappement de gaz et d'huile qui s'enflamment à plus de 500 m au-dessus de l'ouvrage, provoquant notamment la vitrification du sol.

nouvellement créée, et ancêtre de l'actuelle major **Total**. La CFP avait repris la participation de la Deutsche Bank déchu de ses droits suite au traité de San Remo en 1920. Le dernier actionnaire de ce conglomérat opérant en Irak était le célèbre Calouste Gulbenkian (surnommé « Monsieur 5 % »).

Le groupe ainsi formé se nomme l'Iraq Petroleum Company (IPC). En 1927, la production irakienne de l'IPC part en flèche avec la découverte du fameux champ de **Kirkouk**, proche de la province du Kurdistan irakien actuel.

En 1931, une première découverte est faite sur l'île de **Bahreïn** par la compagnie pétrolière américaine Gulf en association avec la Standard Oil of California: il s'agit du champ géant d'Ahwali.

Renforcée par cette découverte, cette même Standard Oil of California part à l'assaut de l'exploration en Arabie saoudite en 1933 et y fait, sous le nom de Californian Arabian Standard Oil Company, des découvertes (Damman, Abou Hadriya...) qui seront et sont toujours à ce jour l'apanage de la société nationale géante **Saudi Aramco**, qui lui succéda ultérieurement.

À la même époque, un peu avant la Seconde Guerre mondiale, les premières découvertes sont faites au **Koweït** (avec l'Anglo-Persian, que nous avons citée plus haut) et au Qatar (avec une filiale de l'IPC), respectivement à **Burgan** et à **Dukhan**.

En parallèle, les techniques des géosciences progressent. Le nombre de puits sur le concept d'anticlinal salifère se multipliant, les géologues de l'USGS (United States Geological Survey) commencent à réaliser des cartes géologiques à partir des données de subsurface, pour piloter cette recherche de structures anticlinales de surface.

C'est à partir de cette époque que la géologie pétrolière comme méthode prédictive d'exploration commence à se répandre, changeant ainsi les modes opérationnels de prospection. On passe de la phase de cueillette à l'**exploration prédictive**.

La **théorie anticlinale** (encart 1.4) avait été avancée dès 1836 par l'américain **Samuel Prescott Hildreth**.

Cette théorie a été clairement formulée en 1860 par **Henry Darwin Rogers**, après le forage de ses premiers puits. Il avait associé les sources de pétroles et de bitumes à la présence de flexures anticlinales.

Durant la même période, les Polonais et d'autres Européens avaient également bien perçu la liaison entre pétrole et structures plissées de surface.

En 1885, **Israel Charles White** avait confirmé que, pour découvrir la présence de pétrole, il était nécessaire que soient réunis des ingrédients tels que de la **matière organique**, des **réservoirs** ou couches magasins (si bien nommées par les pétroliers francophones) et des **pièges anticlinaux**: c'est la théorie anticlinale complétée par les prémices de la notion de système pétrolier.

Les hydrocarbures (sauf certains bitumes, les plus denses) étant en général plus légers que l'eau, ils se déplacent verticalement ou latéralement par contraste de densités par rapport à l'eau.

### Encart 1.4 La théorie anticlinale

C'est en migrant sous l'effet de la poussée d'Archimède que le pétrole et le gaz s'accumulent dans des couches réservoirs au-dessus de l'eau de gisement; leurs mouvements (migration) dépendant de la pression capillaire plus ou moins élevée (pressions d'entrée) des roches encaissantes (faible en réservoir, forte à très forte en milieu microgrenu, argileux ou évaporitique) sont freinés et bloqués par des couches imperméables (les couvertures) qui permettent le piégeage d'accumulations de volume variable dépendant de la taille du réservoir et du piège.



Figure 1.7 – Exemple de piège anticlinal.

Ils migrent vers les points hauts et s'accumulent dans les pièges pétroliers, par le jeu de la poussée d'Archimède (ce principe de flottabilité et l'utilisation du pétrole tous deux connus dès l'Antiquité finissent par se rejoindre dans la recherche et l'exploitation industrielle de ce dernier).

Ce principe n'était d'ailleurs pas du tout maîtrisé par Drake et ses contemporains, qui ne contrebalançaient pas les excès de pression des formations traversées à l'aide d'un fluide alourdi (la boue de forage) mais se basaient au contraire sur l'éruptivité des hydrocarbures pour rendre visibles leurs succès.

Ils appliquent d'une certaine manière le désormais moderne concept d'*underbalanced drilling*, permettant de forer et de tester en même temps, en laissant « venir » les hydrocarbures : c'est le concept de la respiration du puits (cf. chapitres 3 et 8).

En 1898, **Royal Dutch Shell** avait créé le premier service géologique d'exploration centralisé d'une compagnie pétrolière, qui se répand ensuite.

Les initiatives individuelles se perpétuent et, beaucoup plus tard, en 1930, le géologue indépendant américain **Dad Joiner (Columbus Marion Joiner)** invente le concept dit de *biseau stratigraphique* (cf. chapitre 6 pour plus de détails), en recherchant des sables crétacés. Il fait forer la découverte d'**East Texas** qui s'avérera dépasser les 5 milliards de barils d'huile récupérables.

Par cette découverte, l'exploration-production américaine quitte temporairement sa « niche » traditionnelle des anticlinaux salifères comme Spindletop. Elle y reviendra bien évidemment plus tard dans le golfe du Mexique, avec le vaste delta du Mississippi en mer.