Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
Band: 53 (1928)

Artikel: Exploitation du pétrole par drainage souterrain
Autor: Chambrier, Paul de
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-88665

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

EXPLOITATION DU PÉTROLE PAR DRAINAGE SOUTERRAIN

PAR

PAUL DE CHAMBRIER

(AVEC 1 PLANCHE (XX) ET 8 FIGURES)

I. Epuisement des réserves d'huile brute.

A la séance du 19 février 1926 de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, M. le professeur Marcel de Montmollin présentait un remarquable exposé sur « Le pétrole naturel et les carburants synthétiques ; le problème des carburants nationaux [1] ».

Se faisant l'interprète des nouvelles alarmantes, répandues quelques années auparavant par diverses sociétés scientifiques et industrielles des Etats-Unis, M. de Montmollin nous représentait comme possible l'épuisement, dans une trentaine d'années, des gisements d'huile brute de l'Amérique du Nord. Il exposait ensuite les remèdes à envisager pour parer à la crise résultant de la disparition du pétrole, et plus spécialement les moyens suggérés par la chimie pour arriver au pétrole synthétique.

L'industrie chimique allemande est effectivement arrivée récemment à fabriquer industriellement et par un procédé resté secret un carburant de synthèse en partant du lignite bitumeux. Cette matière première, traitée dans des fours spéciaux, produit du gaz de générateur et du gaz à l'eau, puis, sous l'effet combiné de la chaleur, de la pression et de catalyseurs, ces deux gaz, en agissant l'un sur l'autre, donnent comme produit final des hydrocarbures légers.

Cette synthèse, résultant de longues recherches poursuivies depuis plusieurs dizaines d'années par les savants de divers pays, n'est donc pas une découverte fortuite. Remarquons en passant que les travaux remarquables de Sabatier, de Claude, de Pictet, de Bergius, de Fischer, de Tropsch et des chimistes de la « Badische Aniline und Soda-Fabrik » et de l'« Industrie Gesellschaft » ouvrent des horizons nouveaux dans la grande question de l'origine du pétrole [2].

[1] *Bulletin*, 1926, p. 216 et *Suisse libérale* du 25 février 1926.
[2] KŒTSCHAU. *Petroleum Zeitschrift*, nº 4, p. 129 (1928).

Si ces recherches sont passionnantes au point de vue scientifique, jusqu'ici leurs résultats industriels sont insignifiants en comparaison avec l'accroissement de la production mondiale de l'huile brute ; celle-ci, de l'année 1920 à l'année 1927, a passé de 100 millions à 178 millions de tonnes, par la découverte de nouveaux gisements dans l'Oklahoma, la Californie, le Vénézuéla, la Perse et la Russie.

En plus de ces découvertes, des améliorations techniques d'une grande importance ont été réalisées dans les procédés de raffinage et d'extraction de l'huile brute ; ils contribuent à satisfaire la demande toujours croissante des dérivés du pétrole et plus spécialement de l'essence.

Le mazout, ou résidu de la distillation de l'huile brute, est généralement employé comme combustible liquide, surtout aux Etats-Unis, où le rendement de ce produit atteint environ 50 % de l'huile brute traitée en raffinerie. Ainsi la moitié de cette précieuse matière première est tout simplement brûlée dans les foyers des chaudières.

Au cours de ces dernières années, les raffineurs américains ont réalisé un progrès dont l'importance économique est considérable ; ils sont arrivés à fabriquer de l'essence de craquage par décomposition directe de ce mazout. Ce procédé évite le gaspillage de la matière première, permet de doubler le rendement en essence de l'huile brute et assure pour un temps illimité la demande en carburant du marché mondial.

L'essence de craquage contient des fractions lourdes, à point d'inflammation élevé, se prêtant mal à l'alimentation des moteurs à benzine. Il est cependant possible de remédier à ce défaut en ajoutant à l'essence lourde de petites quantités d'essence très légère ou gazoline qui facilite sa combustion. Or, cette gazoline est fabriquée en grand aux Etats-Unis, en partant du gaz naturel dont les éthers sont liquéfiés et condensés par différents procédés.

La composition moyenne de l'essence américaine fabriquée en 1927 fait ressortir l'importance acquise par ces nouveaux procédés de fabrication. Un hectolitre contient :

60 litres d'essence naturelle,
30 litres d'essence de craquage,
10 litres de gazoline extraite des gaz naturels [1].

L'industrie du raffinage, déjà outillée pour suppléer à une diminution éventuelle de production, n'a pas dit son dernier mot. Après l'épuisement des gisements de pétrole, il lui incombera la tâche d'extraire, par distillation sèche, l'huile contenue dans les gisements incommensurables de schistes bitumeux, répartis dans le monde entier. Une installation de ce genre n'est qu'une question de prix de revient.

Avant de recourir à la puissante réserve d'huile contenue dans les schistes bitumineux, l'industrie du pétrole aura à résoudre un

[1] *Courrier des pétroles*, n° 392 (1928).

problème bien plus important, qu'elle a déjà commencé à aborder : celui de la recherche de procédés susceptibles d'améliorer le rendement déplorable d'exploitation des gisements pétrolifères.

Les géologues américains estiment que les méthodes ordinaires d'exploitation par sondage ne permettent pas d'extraire plus de 20 % des quantités d'huile contenues dans un gisement [1]; aussi les producteurs ont-ils essayé différents procédés pouvant leur permettre de mieux utiliser les richesses du sous-sol [2].

Un de ces procédés a donné d'heureux résultats dans le bassin de Bradford, aux Etats-Unis. Il consiste à injecter de l'eau sous pression dans un gisement déjà épuisé par les sondages. En s'infiltrant dans la roche pétrolifère, le courant d'eau déplace une partie de l'huile adhérente au sable et la chasse devant elle en un flot d'allure très lente. A Bradford, les sables sont si compacts et homogènes que l'eau injectée avance seulement de 20 à 40 mètres par année. L'huile est alors extraite par des pompes disposées en avant du flot d'huile. Malheureusement, l'application de cette méthode, spéciale au bassin de Bradford, a donné de désastreux résultats dans d'autres bassins où les gisements furent en quelques jours entièrement envahis par l'eau et perdus pour toujours.

Un second procédé, assez répandu dans les exploitations pétrolifères du centre des Etats-Unis, consiste à augmenter l'effet des pompes à huile en opérant un vide sur le tuyau d'amenée du pétrole brut. Ce vide provoque un dégagement plus actif du gaz naturel, dont la force d'expansion entraîne l'huile hors de son gite, déterminant une amélioration du rendement des pompes. Ce gaz, riche en essence, est amené à une station de liquéfaction où il donne une gazoline de grande valeur. A Cleveland, dans l'Oklahoma, la proportion de gaz recueilli de cette façon atteint 50 mètres cubes par mètre cube d'huile pompée.

Le troisième procédé est le plus intéressant au point de vue du rendement en huile. Il porte le nom de son inventeur : « Smith-Dunn », qui, en 1911, essaya pour la première fois de comprimer de l'air dans les gisements. Cet air comprimé, diffusé dans le gaz de pétrole, lui redonne une nouvelle activité et forme avec l'huile brute des mousses qui cheminent du sondage de compression aux pompages voisins. L'air comprimé prend parfois le chemin de moindre résistance : il passe dans la partie supérieure de la couche de sable, libre d'huile, et fait court-circuit avec les pompages. Ce procédé ne s'applique donc pas à tous les gisements. Dans le cas le plus favorable, il a permis d'augmenter d'environ 20 % le rendement total d'extraction.

L'installation peu coûteuse et les frais minimes d'extraction de ces trois procédés américains en font le grand avantage : ils sont donc rémunérateurs ; mais leur faible rendement ne permet

[1] *Courrier des pétroles*, n° 387 (1928) et *Bibliographie*, n° 6, p. 26.
[2] *Bibliographie*, n° 16, p. 727.

pas de diminuer d'une façon sensible les quantités considérables d'huile que l'exploitation par sondage laisse dans le sous-sol.

Nous étudierons plus loin les nombreux facteurs qui entrent en jeu dans l'estimation des quantités d'huile contenues dans un gisement soit vierge, soit déjà exploité par les sondages, facteurs qui empêchent de donner des chiffres applicables à tous les gisements. Pour Péchelbronn, la proportion d'huile abandonnée en profondeur par les sondages peut être évaluée à une moyenne de 70 à 75 % de la saturation primitive [1].

Comment se fait-il que les pompes à huile aient un si déplorable rendement ?

Sous l'effet de la pression du sol, le sable plastique, déposé par les eaux à l'époque tertiaire ou à des époques plus anciennes, a atteint peu à peu son tassement maximum : l'espace qu'il occupe correspond aux deux tiers de son volume primitif ; il s'est transformé en une roche dont les grains sont en outre plus ou moins cimentés par des matières terreuses ; une roche aussi compacte oppose une résistance très grande à l'écoulement des fluides.

Rappelons l'exemple du Bassin de Bradford où l'eau, injectée sous une pression statique d'une vingtaine d'atmosphères, pénètre le sable à la vitesse moyenne de 30 mètres par année. Ce cas est peut-être exceptionnel ; néanmoins, il semble résulter d'autres observations que le gaz de pétrole, dissous dans l'huile sous haute pression, est la seule force motrice capable de faire avancer l'huile jusqu'aux pompes disposées dans le gisement.

Au cours de l'exploitation, cette force motrice s'atténue d'année en année, les pompages donnent une production de plus en plus réduite et doivent finalement être abandonnés dès que le gisement est devenu inerte par le départ de l'excédent de gaz. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

Les quantités considérables d'huile abandonnée dans le sous-sol ne sont pas perdues pour toujours, elles y resteront en réserve jusqu'au moment où il deviendra nécessaire de les utiliser. Le moyen de les récupérer intégralement consiste à pénétrer dans le gisement par des travaux souterrains, à sortir de la mine le sable pétrolifère et à extraire l'huile de ce sable par des moyens appropriés.

Si ce mode d'extraction est réalisable, au double point de vue de la sécurité des mineurs et du rendement financier de l'entreprise, il retardera l'échéance de l'épuisement des sources de pétrole, échéance redoutée par les pays détenteurs de cette richesse et dont l'intérêt primordial leur commande d'en prolonger l'existence.

Pendant la guerre, la direction des mines de Péchelbronn se décida à hasarder cette tentative pleine de hardiesse ; elle fit installer des puits de mine et une station de lavage mécanique, des-

[1] Cette évaluation est basée sur les données limites suivantes : Saturation primitive ; 100 à 120 kg. d'huile par tonne de sable ; huile résiduelle d'un massif drainé 40 à 45 kg. et coefficient de drainage ; 1 à 1,4.

tinée à extraire du sable l'huile dont il est imbibé à sa sortie de la mine. Les résultats de cette entreprise furent bien différents de ce que l'on en attendait : ils conduisirent à la découverte d'un procédé tout nouveau d'exploitation du pétrole, par drainage souterrain.

Nous traiterons ce sujet dans les chapitres suivants, mais auparavant disons quelques mots sur le rôle scientifique qui paraît être réservé à l'exploitation souterraine de l'huile brute. Elle est destinée à résoudre foule de questions restées jusqu'ici obscures, ayant trait à l'origine de l'huile minérale, à sa migration, à sa concentration dans le sous-sol, à l'action des gaz naturels et à la stratification des roches poreuses.

La plupart des géologues et beaucoup de chimistes, ardents partisans de l'origine organique du pétrole, ont accumulé tant d'arguments en faveur de cette théorie que la science a fini par l'admettre comme la plus probable. Néanmoins, ne peut-on pas se demander si la synthèse des hydrocarbures, par hydrogénation directe du carbone, réalisée en laboratoire et récemment dans l'industrie par les chimistes, n'a pas été réalisée avant eux par la nature ?

Les gisements connus doivent leur découverte à des manifestations superficielles des étages supérieurs de la croûte terrestre, à l'intérieur de laquelle pourraient bien se rencontrer de puissantes réserves d'hydrogène, de méthane, de carbone ou de métaux carburés. Guidées par la théorie de l'origine organique, les recherches se limitent aux terrains où il y a eu concentration d'eaux lagunaires. L'origine profonde, au contraire, laisse entrevoir la possibilité de nouvelles et importantes découvertes dans des régions où personne n'a songé jusqu'ici à rechercher le pétrole.

Sauf à Péchelbronn, l'étude des niveaux pétrolifères est toujours faite par l'entremise plus ou moins aveugle des outils de sondage ; il est donc admissible que l'examen des gisements en place arrive un jour à des conclusions plus précises et de nature à renverser peut-être les théories actuelles de la formation de l'huile brute.

II. Le gisement de Péchelbronn.

Péchelbronn n'est pas le seul point de la plaine du Rhin où le pétrole se soit manifesté. Des apparitions à la surface, suivies de fouilles ou de forages, ont fait découvrir des indices pétrolifères à foule d'endroits répartis entre Heidelberg et Mulhouse, mais nulle part en quantité suffisante pour en permettre l'exploitation industrielle.

La concession de Péchelbronn, d'une superficie d'environ 42,000 hectares, s'étend dans une région de petites collines, légèrement vallonnées, situées de l'ouest de la ville de Haguenau au sud-ouest de Wissembourg. Dans cette concession, dont un quart seulement est productif, la zone exploitée est restreinte à une

bande étroite de 2 à 7 kilomètres de largeur sur 20 kilomètres de longueur.

Les sables pétrolifères d'Alsace sont interstratifiés dans les marnes oligocènes qui remplissent la plaine du Rhin sur une épaisseur d'environ 1000 mètres dans la partie exploitée de la concession. La coupe géologique de l'Alsace et du pays de Bade permet de se représenter que les Vosges et la Forêt-Noire constituaient, à l'époque jurassique, un massif homogène dont la partie centrale s'est rompue et affaissée verticalement, en formant la plaine du Rhin.

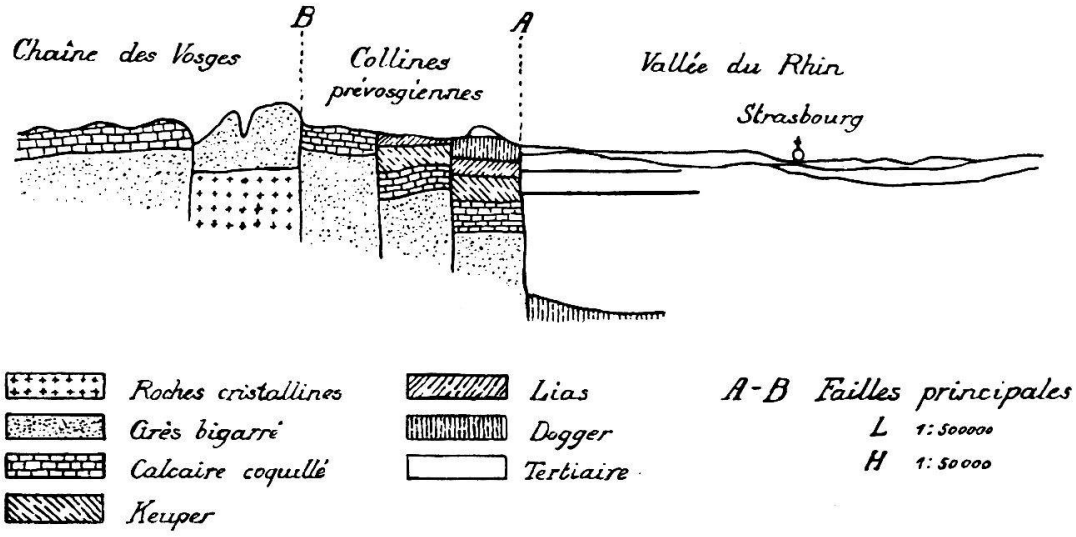

Fig. 1. Coupe transversale des Vosges et de la vallée du Rhin.

La valeur de cet effondrement est très variable, elle atteint 4000 mètres à Mulhouse et 2000 à 2800 mètres dans la région de Péchelbronn.

Les géologues admettent que cet affaissement s'est produit, en partie du moins, après l'époque oligocène, mais les fractures ont probablement commencé à se produire déjà avant et pendant l'époque oligocène [1].

Du côté des Vosges, ces fractures sont de trois espèces : Une première faille, celle des Vosges, sépare cette chaîne de montagnes des collines prévosgiennes. En second lieu, la faille rhénane forme la cassure principale qui a permis au fossé rhénan de se former. En troisième lieu, le terrain oligocène est sillonné de failles radiales, à rejets variant de quelques mètres à 200 mètres, et ces glissements ont été reconnus autant par les forages que par les travaux souterrains.

Ces travaux ont permis d'étudier la stratification du terrain, définie par un certain nombre d'horizons repères, dont la mieux caractérisée est une strate régulière, contenant des bryozoaires et des hydrobies. Une autre couche de 200 à 250 mètres plus profonde est constituée de marnes rouges, riches en nodules d'anhy-

[1] *Bibliographie,* nº 10, p. 5.

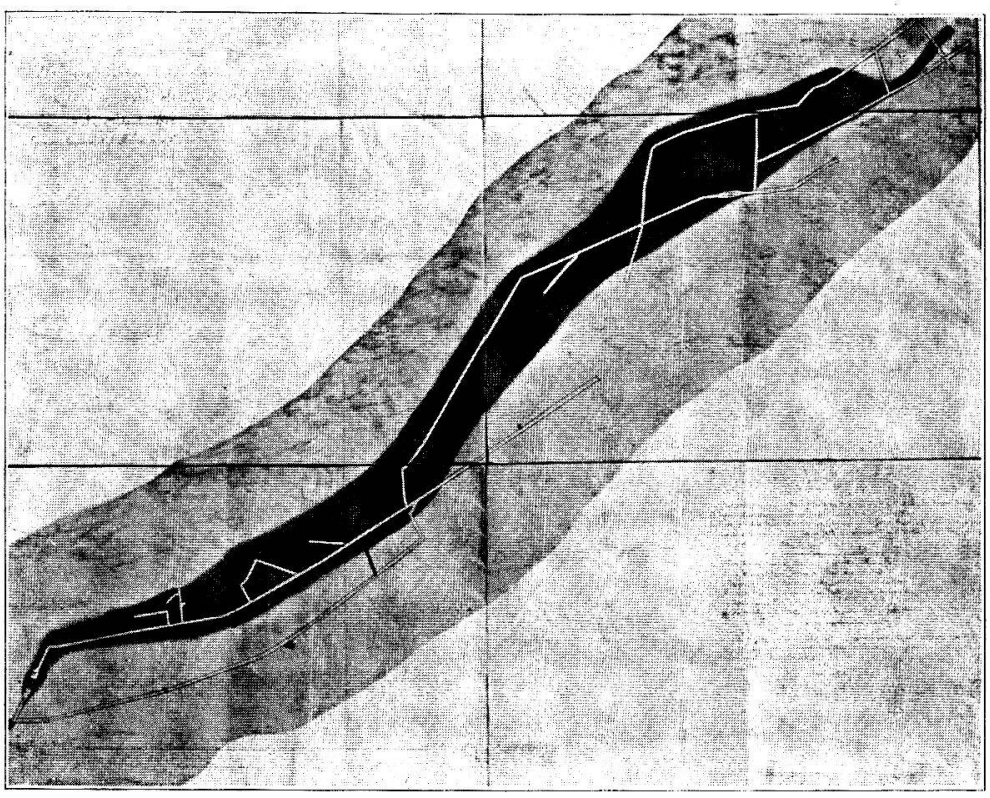

Fig. 2. Lentille de sable exploitée en 1813.

drite. Toutes deux ont la plus grande importance dans l'exploitation du pétrole et servent de guide aux géologues chargés de l'étude du terrain.

Les dépôts de sable, inclus dans la marne, sont généralement pétrolifères ; néanmoins les forages, les puits et les galeries ont aussi rencontré des sables non imprégnés, ou partiellement imbibés d'huile. Les formes, les dimensions de ces dépôts, ainsi que la quantité et la qualité de l'huile dont ils sont imprégnés, varient selon la profondeur et selon les régions.

Les plus rapprochés de la surface revêtent la forme de lentilles allongées, tantôt régulières, tantôt irrégulières, et leur stratification a été bien définie par le fait qu'elles furent exploitées au XVIIIme et au XIXme siècles, de 1735 à 1873, par des travaux souterrains. Ces sables, faiblement imprégnés d'une huile très visqueuse et très lourde, d'une densité moyenne de 0,970, dépourvue de produits légers et non accompagnée de gaz, étaient amenés dans une raffinerie et extraits à l'eau bouillante.

Plus tard, en poussant les travaux jusqu'à 80 et 100 mètres, les mineurs atteignirent des gisements d'allure toute différente, en forme de strates régulières, orientées dans la direction de la faille des Vosges et ayant un pendage vers le sud-est de 5 à 7 degrés. Ces nouveaux gisements, plus riches que les anciens, contenaient une huile encore lourde et visqueuse, de 0,945 de densité, dépourvue de paraffine, comme la précédente, mais suffisamment chargée de gaz pour rendre dangereuse une exploitation souter-

raine équipée à cette époque d'une façon très primitive. Aussi fut-elle abandonnée définitivement en 1888. Six ans auparavant, un sondage heureux avait fait découvrir un horizon tout nouveau, profond de 150 mètres, d'où l'huile sortait spontanément par jaillissement.

Les strates profondes, dès lors exploitées par sondages, ne diffèrent pas des précédentes par leur allure, mais bien par la qualité de l'huile dont elles sont imprégnées. Huile légère, fluide, de 0,880 de densité moyenne, paraffineuse, contenant du pétrole, de l'essence et surtout du gaz en quantité et sous une pression suffisante pour faire jaillir le pétrole en fontaine de profondeurs variant entre 150 et 450 mètres.

L'allure tranquille de ces couches poreuses, bien stratifiées, isolées dans un terrain encaissant marneux, n'accusant ni dômes, ni anticlinaux, et rappelant des dépôts de rivage, a logiquement conduit les géologues qui ont étudié Péchelbronn à admettre l'origine primaire des pétroles d'Alsace. D'après eux, l'huile se serait formée sur place et proviendrait de la décomposition en profondeur d'une sorte d'alluvion sableuse animale (sapropélique) enfouie dans les masses marneuses [1].

L'ensemble des couches tantôt lacustres, tantôt marines, avec facies assez rapidement variable d'un point à un autre, comme cela est normal pour les dépôts de rivage, a été soumis à de nombreuses fractures par suite de l'effondrement de la plaine du Rhin [2], et ces fractures ont bouleversé l'harmonie d'une stratification primitivement régulière (fig. 3).

Dès lors, le terrain, sillonné de failles radiales, se trouve être découpé en une série de compartiments, les uns effondrés, les autres surélevés, sans aucune régularité. Leur largeur atteint plusieurs centaines de mètres et leur longueur plusieurs kilomètres. Les failles qui les séparent sont sensiblement parallèles aux Vosges et orientées à environ 30 degrés du nord vers l'est. Le sens du rejet des failles n'est pas toujours le même : leur inclinaison est variable et la pente des couches de ces divers compartiments varie entre 2 et 8 degrés, exceptionnellement 25 à 30 degrés. La faille la mieux connue longe les gisements les plus importants de la concession, elle est inclinée de 45 degrés vers l'ouest et son rejet atteint 100 mètres (fig. 4).

Certains compartiments sont stériles, d'autres plus ou moins productifs suivant l'étendue des dépôts de sable pétrolifère, dont la puissance oscille entre quelques centimètres et 10 mètres, généralement un à deux mètres. Cette puissance joue un rôle important dans l'exploitation par drainage souterrain, qui est facile et rémunératrice pour les couches de sable épaisses et de grande étendue, mais qui devient onéreuse pour les strates de volume restreint et irrégulièrement réparties.

Pour en revenir à la question de l'origine de l'huile brute,

[1] *Bibliographie,* n° 10, p. 26.
[2] *Id.,* n° 18, p. 138.

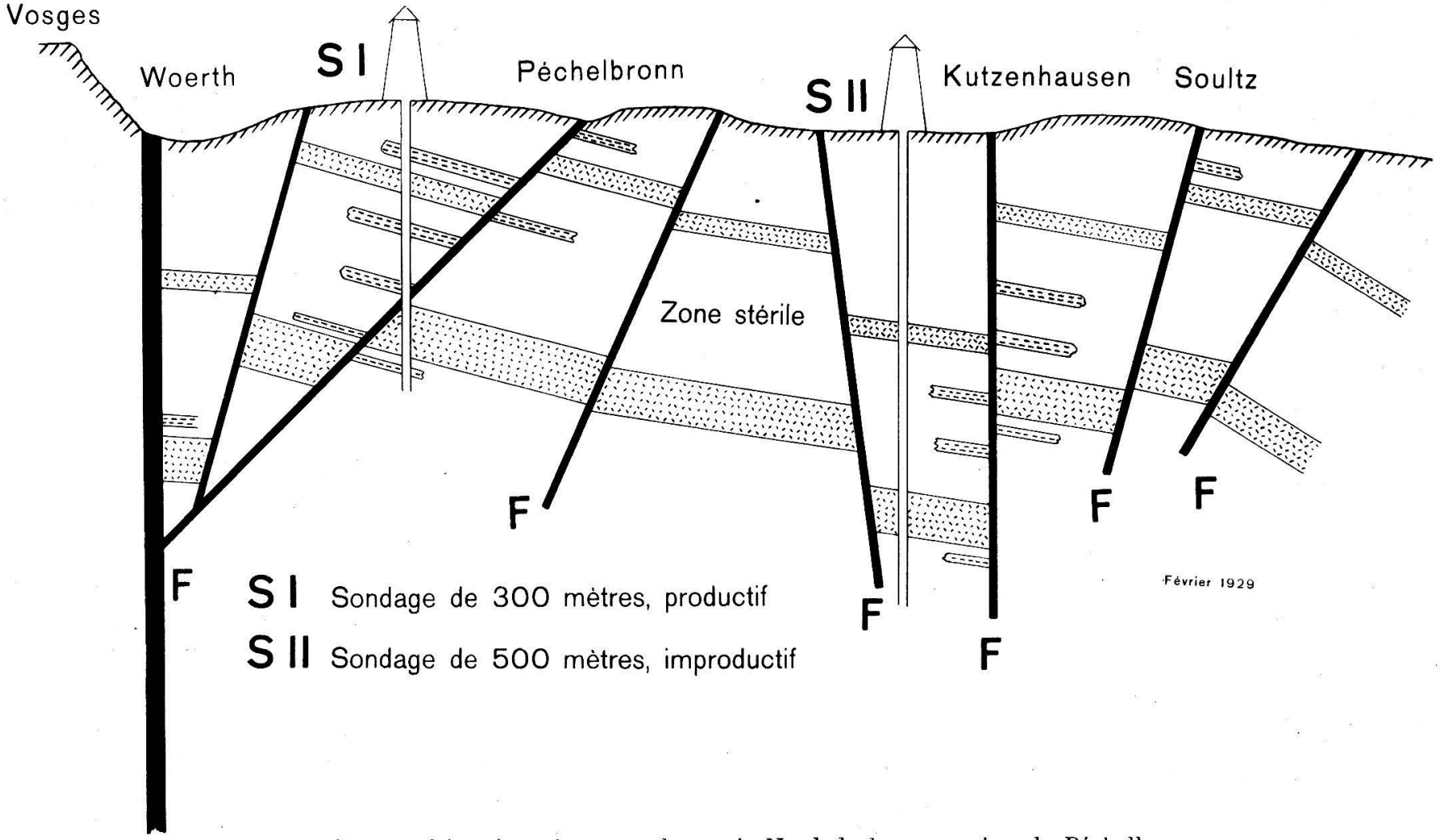

Fig. 3. Coupe schématique à travers la partie Nord de la concession de Péchelbronn.

notons que les trois faits suivants paraissent être en désaccord avec la théorie organique et la formation primaire des gisements de Péchelbronn :

1) Les gîtes les plus productifs se trouvent presque toujours en bordure d'une faille.

2) Les couches encaissantes ne sont pas pétrolifères.

3) Les dépôts de sable pétrolifère se superposent en nombre d'une dizaine sur une profondeur d'environ 600 mètres et sur une largeur variant de 2 à 7 kilomètres seulement.

Cette série d'imprégnations successives, contemporaines du dépôt des couches, s'explique difficilement avec l'hypothèse de formations lagunaires, puisqu'il faudrait admettre que l'imprégnation de ces couches, étagées les unes sur les autres, se serait concentrée sur une seule bande étroite de terrain, pendant toute l'époque tertiaire. Il serait aussi extraordinaire que cette imprégnation ait affecté uniquement les sables au moment de leur dépôt et non pas les couches encaissantes qui se déposaient en même temps [1].

Si l'étude des gisements exploités par les travaux souterrains arrivait un jour à démontrer que les gaz du noyau central, remontant par les fissures de la croûte terrestre, sous une pression inimaginable, sont venus, sans laisser dans les failles de traces de leur passage, se liquéfier dans les terrains poreux de l'oligocène, l'exploitation du pétrole en Alsace serait susceptible d'un grand développement. Il y aurait tout espoir de rencontrer l'huile en profondeur dans le terrain jurassique [2] ou dans la plaine du Rhin, c'est-à-dire à l'est des gisements qui sont actuellement exploités dans un rayon très limité et voisin de la grande faille rhénane.

III. Reprise des travaux souterrains.

Les débuts d'une industrie nouvelle et les circonstances qui en déterminèrent l'éclosion sont toujours intéressants et instructifs à connaître, d'autant plus que l'histoire d'une industrie apporte son tribut à la science économique.

Le procédé de drainage souterrain de l'huile brute n'est pas le résultat d'une étude scientifique très approfondie, elle doit sa création à un concours de circonstances très curieuses.

Les anciens travaux souterrains de Péchelbronn, dont nous avons déjà parlé précédemment, consistaient à extraire de mines peu profondes un sable gras qui, lavé à l'eau bouillante, donnait une graisse épaisse employée, sans autre raffinage, à la lubrification des essieux de voiture.

Pendant un siècle et demi d'existence de cette exploitation, les ingénieurs de mine avaient eu soin de consigner leurs observations et les résultats des travaux dans des journaux de mine très

[1] L.-C. Tassard. *Exploitation du pétrole.* Paris, 1908, p. 684.
[2] *Bibliographie*, n° 11.

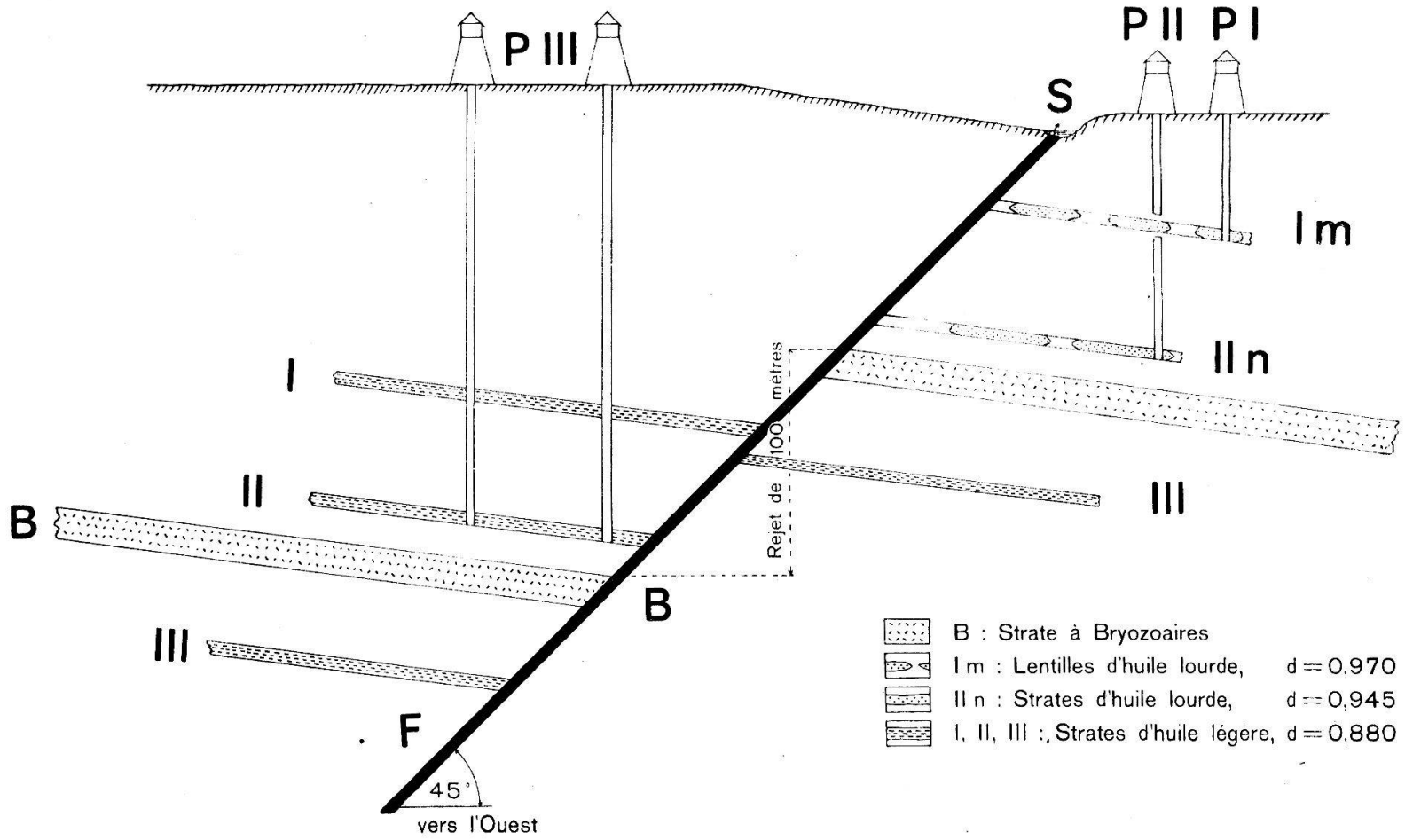

Fig. 4. Coupe en travers de la faille des puits.

documentés. En donnant des indications sur la disposition du gisement, ces documents servirent longtemps de guide aux travaux de sondage.

Les 3500 sondages exécutés depuis lors dans la concession de Péchelbronn ont peu à peu permis aux ingénieurs et aux géologues de se faire une idée exacte de la stratification et de la disposition faillée des couches profondes, surtout depuis le moment où fut adopté l'outillage de forage au diamant qui seul permet de retirer de la roche de grands échantillons intacts, indispensables pour guider le géologue (fig. 5).

Cela se passait peu d'années avant la guerre. A cette époque, la partie la plus riche de la concession, où se rencontrent des couches de sable pétrolifère plus étendues et plus rapprochées les unes des autres, était à peu près épuisée. Les sondages avaient fait découvrir d'autres gîtes nombreux, mais plus disséminés et moins puissants qui ne paraissaient pas de nature à assurer pour longtemps encore l'avenir de l'exploitation.

Partant de l'idée que les gisements d'huile brute légère, exploités par sondage, contenaient encore une certaine quantité de pétrole brut, et d'autre part que les pompes d'extraction les avaient débarrassés de leur excédent de gaz, la direction technique de Péchelbronn proposa, dès le début de la guerre, de reprendre la méthode d'exploitation par travaux souterrains, abandonnée depuis une trentaine d'années.

M. Nœllenburg, directeur de la « Deutsche Erdœl Gesellschaft », société berlinoise d'exploitation minière, qui, depuis 1906, avait fait l'acquisition des trois concessions de pétrole d'Alsace, fit procéder à une étude approfondie de cette question, et, à cet effet, les précieuses archives concernant les anciens travaux miniers furent transportées à Berlin.

L'étude dura près d'une année et n'aboutit pas au résultat espéré ; ingénieurs de mine, géologues et financiers reculaient devant la responsabilité d'une entreprise qualifiée d'incertaine et de hasardeuse. C'est alors qu'intervint le laboratoire de Péchelbronn, où des travaux exécutés sur la saturation du sable par l'huile, sur son pouvoir d'absorption et sur la force d'adhésion nous permirent d'arriver aux conclusions suivantes :

« La quantité d'huile qui s'écoule d'un gisement atteint par un sondage est si minime que l'exploitation intégrale de ce gisement, avec extraction et lavage du sable, donnera deux fois et demie plus d'huile que n'en ont livré les sondages situés dans le périmètre de la couche à exploiter. En outre, une partie de cette huile résiduelle s'écoulera dans les galeries par suintement naturel. »

Les études poursuivies à Berlin par les ingénieurs de mine et à Péchelbronn par les chimistes avaient duré près de deux ans, et entre temps les conditions économiques de l'industrie de Péchelbronn avaient complètement changé. Par suite de la guerre, les produits raffinés avaient quadruplé de valeur et par conséquent

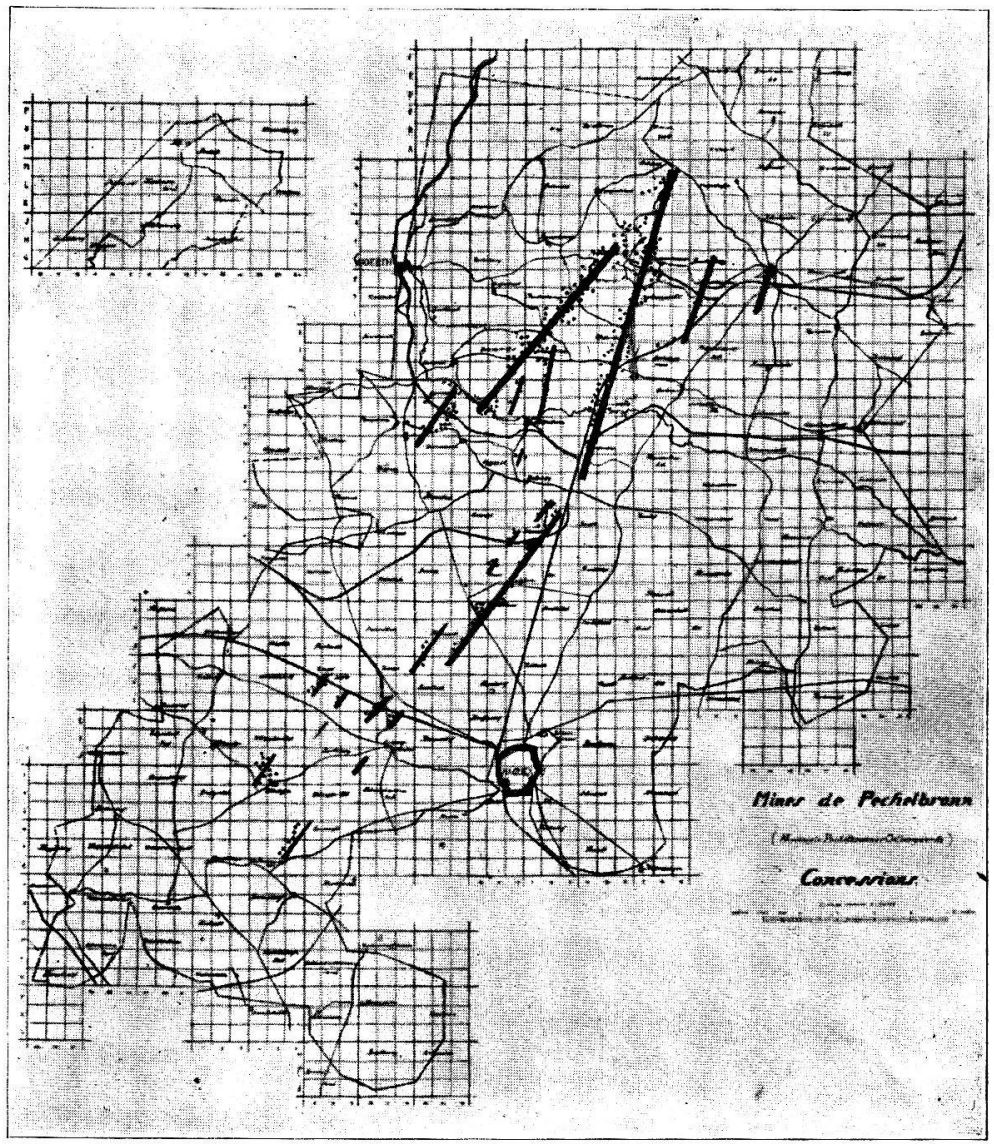

Fig. 5. Plan des sondages et Lignes de production, sensiblement parallèles aux failles principales.

le prix de revient de la matière première n'entrait plus en ligne de compte. Il est vrai qu'en Allemagne, comme dans la plupart des pays engagés dans le conflit mondial, le bénéfice supplémentaire réalisé par les sociétés industrielles revenait à l'Etat, mais, d'autre part, l'Etat faisait, sur ces redevances, remise des capitaux investis par ces sociétés à l'agrandissement de leurs installations.

Cette dernière clause résolvait la question financière de l'entreprise. Dès lors, les géologues se rangèrent aux conclusions des chimistes, et les ingénieurs de mine furent chargés de la question technique.

Au début de l'année 1917, le premier puits était foncé et la première galerie atteignit, à 150 mètres de profondeur, l'importante couche pétrolifère définie et exploitée par les sondages depuis plus de trente ans. Dans les premiers jours qui suivirent l'at-

taque du gisement ne se manifestèrent ni le dégagement violent de gaz redouté par les ingénieurs, ni le suintement de l'huile prévu par les chimistes. Puis, peu à peu, des parois inférieures des galeries, les mineurs virent l'huile suinter lentement, chassée qu'elle était par d'innombrables et minuscules bulles de gaz. Ces bulles chargées d'huile, en s'infiltrant dans les interstices capillaires d'une roche arénacée, compacte et tassée à l'excès, éclataient à leur sortie en produisant un crépitement faible, mais très curieux.

Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, l'huile de suintement devint toujours plus abondante ; la production journalière atteignit 10 tonnes ; aussi, après trois mois, la valeur de l'huile recueillie avait largement couvert tous les frais de fonçage du premier puits.

Ce résultat inattendu permit de renoncer à l'extraction prévue du sable de tout le gisement et à son lessivage. Il restait à trouver le moyen de pénétrer toujours plus avant dans la roche pétrolifère, chargée de gaz, d'y tracer des galeries de drainage tout en assurant la sécurité des mineurs.

La technique de ce tout nouveau mode d'extraction parut d'abord fort simple aux ingénieurs de mine chargés de la créer ; aussi cette création, élaborée d'une façon trop hâtive, comme toutes les installations de guerre, présentait-elle bien des défauts. La mise au point de cette industrie nouvelle ne put se faire qu'à la suite de graves accidents survenus en 1919 (fig. 6).

Un an avant ces accidents, et avant l'organisation définitive de la première mine, la D. E. A. avait déjà installé deux nouveaux sièges d'exploitation, dans des régions peu productives. Leur rendement n'atteignit jamais l'importance du premier siège, où les conditions stratigraphiques se prêtaient tout particulièrement bien au drainage souterrain.

IV. Mécanisme du drainage et son rendement.

L'exploitation complète d'un gisement pétrolifère devrait comporter trois phases distinctes [1] :

1) Sondages, jaillissement et pompage . . . . . *(p)*
2) Drainage par galeries . . . . . *(d)*
3) Extraction des sables et lavage à l'eau bouillante . . *(l)*

Le rendement respectif de ces trois procédés *p*, *d*, *l*, loin d'être dans un rapport constant, varie d'un gisement à l'autre. Il dépend non seulement de la saturation primitive, mais il est encore soumis à l'action de nombreux facteurs [2] dépendant de la quantité et de la pression du gaz, de la qualité de l'huile, de la porosité de la roche ou du tassement du sable, de sa pureté, de la grosseur des grains dont il est composé, de la stratification du terrain, de l'étendue et de la puissance du gisement, des cloisons marneuses

[1] *Bibliographie*, nº 9, p. 151. — Voir aussi la planche hors texte.
[2] *Id.*, nº 14, p. 919.

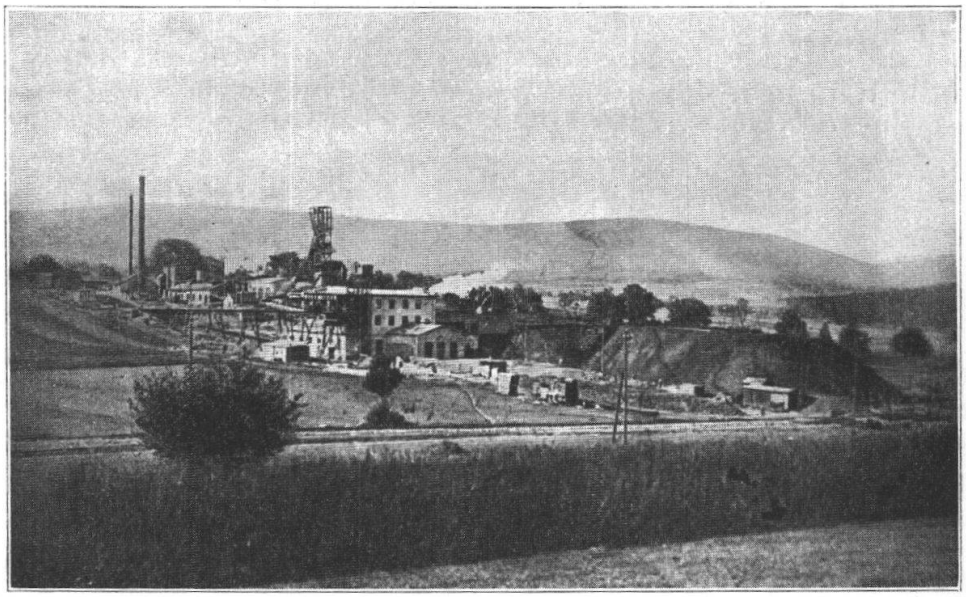

Fig. 6. Puits Clemenceau.

qui l'entre-coupent en tous sens et de la présence de couches aquifères. En outre, le rendement de *p* varie avec le nombre des pompages disposés par hectare, le degré de leur épuisement, et *d* avec l'écartement des galeries de drainage et la façon plus ou moins heureuse dont elles sont disposées.

Il n'est donc pas possible de calculer d'avance et avec exactitude quel sera le rapport entre la production des sondages et des galeries, ou, autrement dit, quel sera le coefficient de drainage d'un gisement apparemment épuisé par les pompes. Mais depuis l'année 1917, ce rapport a été pratiquement déterminé pour différentes strates, et, bien que variable, il peut être utilisé comme élément de calcul approximatif de rendement de *p*, *d*, *l*.

Les autres éléments de calcul sont d'une détermination plus délicate. Les travaux souterrains permettent de prélever des échantillons de sable en place, saturés d'huile dans la partie suintante de la galerie, ou de sable épuisé par le drainage, pour en doser l'huile. Pour peu que ces déterminations soient faites continuellement et avec soin, elles arrivent à des résultats moyens, susceptibles de donner des renseignements utiles sur la saturation d'un gisement vierge et sur la quantité d'huile *r* qui subsiste encore dans un massif drainé. Le degré moyen de saturation primitive de l'ensemble d'un gisement restera une inconnue tant que le sable n'en a pas été extrait ; néanmoins, il est admissible que les sondages et les galeries, judicieusement disposés dans la partie basse d'une strate pétrolifère inclinée, drainent seulement l'huile des parties les plus riches et les plus rapprochées des travaux et que les parties hautes de la couche et écartées des galeries, étant pauvres en huile par le fait que le gaz s'y est accumulé lentement depuis l'époque de la formation du pétrole, n'influent pas sur le rendement de l'exploitation.

Soit : S la saturation primitive des parties exploitables du gisement ; p le rendement des sondages ; d celui du drainage ; r la quantité d'huile résiduelle, et k le coefficient de drainage, on aura par définition :

$S = p + d + r$ et $d = pk$, d'où la relation :

$$p = \frac{S - r}{1 + k}$$

A titre de simple exemple, donnons à S, r, k des valeurs qui nous paraissent plausibles pour les parties drainées du gisement principal de Péchelbronn, soit $S = 100$; $r = 40$ et $k = 1{,}2$; les valeurs de S et de r sont exprimées en kilogrammes d'huile par tonne de sable en place.

Le rendement des trois phases d'extraction devient :

p =	Rendement des sondages	27,3
d =	Rendement du drainage	32,7
l =	Rendement du lavage du sable, supposé égal à r	40.—
S =	Saturation primitive	100.—

Tout approximatifs que soient ces chiffres, ils vont nous être utiles pour comprendre le mécanisme du drainage ou la théorie du suintement. Cette théorie a fait l'objet de controverses ; certains auteurs attribuent à la gravité le rôle principal dans le suintement de l'huile [1] ; j'estime, au contraire, que la pression du gaz est seule capable de mettre l'huile en mouvement dans un massif de sable compact et que cette force motrice existe encore, bien qu'atténuée, dans un gisement apparemment épuisé par les sondages.

Pour étudier le phénomène du suintement, il faut d'abord prendre en considération la porosité de la roche pétrolifère ou, plus exactement, les espaces libres compris entre les éléments dont elle est composée [2].

Désignons par v le rapport centésimal entre ces espaces et l'unité de volume de la roche pétrolifère et considérons quelques cas :

1) $v = 45$ à 50 % avec du gravier ou du sable désagrégé, à grains spériques et réguliers, disposés en position cubique. Cette position d'équilibre instable des grains de sable est purement théorique et n'est pas concevable dans un terrain tassé par la pression du sol. Si de pareils espaces pouvaient exister dans une roche pétrolifère, sa résistance au passage des fluides serait très faible, l'huile s'en écoulerait par simple gravité, elle serait remplacée par du gaz ne laissant autour des grains qu'une mince pellicule de pétrole brut.

2) $v = 2$ à 6 %. C'est le cas de calcaires ou de grès compacts, où de l'huile incluse nécessiterait une pression de gaz considérable

[1] *Bibliographie*, n° 18, p. 140.
[2] *Id.*, n° 1, p. 82.

pour s'écouler dans la direction d'un sondage. Le rendement de l'exploitation serait très minime et n'augmenterait pas par une exploitation souterraine, succédant à la première.

3) $v = 20$ à 27 %, cas du sable en place de Péchelbronn, tassé à l'excès et plus ou moins chargé de matières terreuses.

Dans un gisement vierge de cette espèce, en tant que saturé, les espaces libres sont occupés par de l'huile, par de l'eau salée en faible proportion et par du gaz. Le volume occupé par le gaz est négligeable, vu la haute pression où il se trouve et sa solubilité dans le pétrole brut.

Une sonde qui vient à toucher le gisement provoque d'abord une ébullition violente du gaz, une partie de l'huile est chassée vers le sondage, puis le reste forme, avec le gaz qui s'en dégage sans interruption, une mousse élastique et compressible qui, par sa nature, chemine très lentement dans les interstices capillaires du sable et cela d'autant plus lentement que l'ouverture de sortie est minuscule et peut être comparée à un trou d'aiguille, pour employer l'expression charmante de M. de Launay [1].

Pendant les années que dure l'extraction par pompage, la pression du gaz va en s'atténuant, la mousse obstrue de plus en plus les pores du sable, le gisement devient inerte, et des quantités considérables d'huile, encore chargée de gaz, sont perdues pour l'exploitation.

Que va-t-il se passer si la roche est alors attaquée par une galerie de drainage ?

Remarquons d'abord que la surface d'écoulement d'une galerie est incomparablement plus grande que celle d'un sondage. Un exemple va nous permettre de saisir la différence de ces deux méthodes d'exploitation par sondage et drainage dont l'une complète l'autre avantageusement. Pour éviter l'engorgement des pompes à huile brute, elles sont protégées par une crépine ou tuyau percé de trous dont la surface filtrante est de l'ordre de grandeur d'un mètre carré.

Les ingénieurs américains admettent qu'un sondage draine une superficie de terrain de 240 ares [2]. Si dans ce terrain, apparemment épuisé par un sondage, on creuse une galerie de 200 mètres de longueur et de 5 mètres carrés de surface par mètre d'avancement, les 1000 mètres carrés de surface filtrante vont changer du tout au tout les conditions d'écoulement de l'huile et des gaz hors de la couche pétrolifère.

Aux abords immédiats des parois de la galerie, le gaz, mis en communication avec l'atmosphère, s'échappe librement et la mousse qui obstruait les pores de la roche se désagrège. Par gravité, l'huile tend à descendre et, par sa force ascensionnelle, le gaz tend à s'élever vers le toit de la galerie où le sable est de plus en plus libre d'huile.

[1] Le sol et le pétrole alsacien. *Echo des mines,* 13 novembre 1919, p. 673.
[2] *Bibliographie,* n° 6, p. 15.

A une certaine distance des parois du drainage, ces deux forces actives sont trop minimes pour vaincre à elles seules les réactions antagonistes provoquées par les forces capillaires, la viscosité de l'huile et la résistance qu'oppose le sable à l'écoulement des fluides. Mais grâce à l'intervention de la force motrice du gaz qui surmonte les réactions antagonistes, une séparation graduelle des deux fluides en mouvement se produit au voisinage des parois de la galerie, où, en même temps que la mousse se désagrège, la résistance du mur de sable va en s'atténuant.

Au front de la galerie s'établit un régime d'écoulement stable, avec surface de séparation nette entre le liquide et le gaz [1].

Ainsi s'explique le fait, constaté dans les travaux, que le suintement de l'huile se manifeste seulement sur une faible hauteur [2]. Cette hauteur apparente de l'huile suintante, identifiée autrefois avec le niveau moyen de l'huile dans toute la couche pétrolifère, a été une cause d'erreurs commises dans les premières évaluations de rendement du drainage [3].

La détente produite par le départ du gaz se propage peu à peu dans tout le gisement, son état d'équilibre est rompu, il reprend l'activité perdue lors de l'abandon de l'exploitation par pompage. Le gaz entre de nouveau en ébullition et ses globules, dont le volume augmente avec la dépression, agissent comme des pistons d'air et cheminent vers les galeries de drainage, en expulsant l'excès de mousse dont le gisement est saturé.

La grande surface d'évaporation des galeries provoque un dégagement tout particulièrement rapide du gaz en suspension dans l'huile, et cette vitesse supplée à la diminution de pression de ce gaz, primitivement dissous dans l'huile d'un gisement vierge. Le rendement de l'exploitation par puits et galeries surpasse en général le rendement de l'exploitation par sondage et pompage.

Cependant le moment vient bientôt où la pression gazeuse s'épuise complètement ; l'huile résiduelle, incapable de s'écouler par gravité, reste en quantité très appréciable dans le gisement.

En résumé, la quantité et la pression du gaz subsistant dans un gisement déjà exploité par les sondages sont les facteurs essentiels d'un bon rendement, avec le procédé de drainage souterrain.

V. Technique du drainage souterrain [4].

Toute mine de pétrole définitivement organisée doit avoir deux communications avec le jour : un puits d'entrée d'air servant à la circulation du personnel et à l'extraction des déblais, et un puits de sortie d'air, ou d'évacuation de l'air vicié par les gaz. A l'orifice de ce dernier est installé un ventilateur aspirant de grande puissance, de l'ordre de grandeur de 3000 mètres cubes par minute.

[1] *Bibliographie*, n° 13, p. 72.
[2] *Id.*, n° 6, p. 52 et 80.
[3] *Id.*, n° 7, p. 127.
[4] *Id.*, n°s 9, 13, 18 et 19.

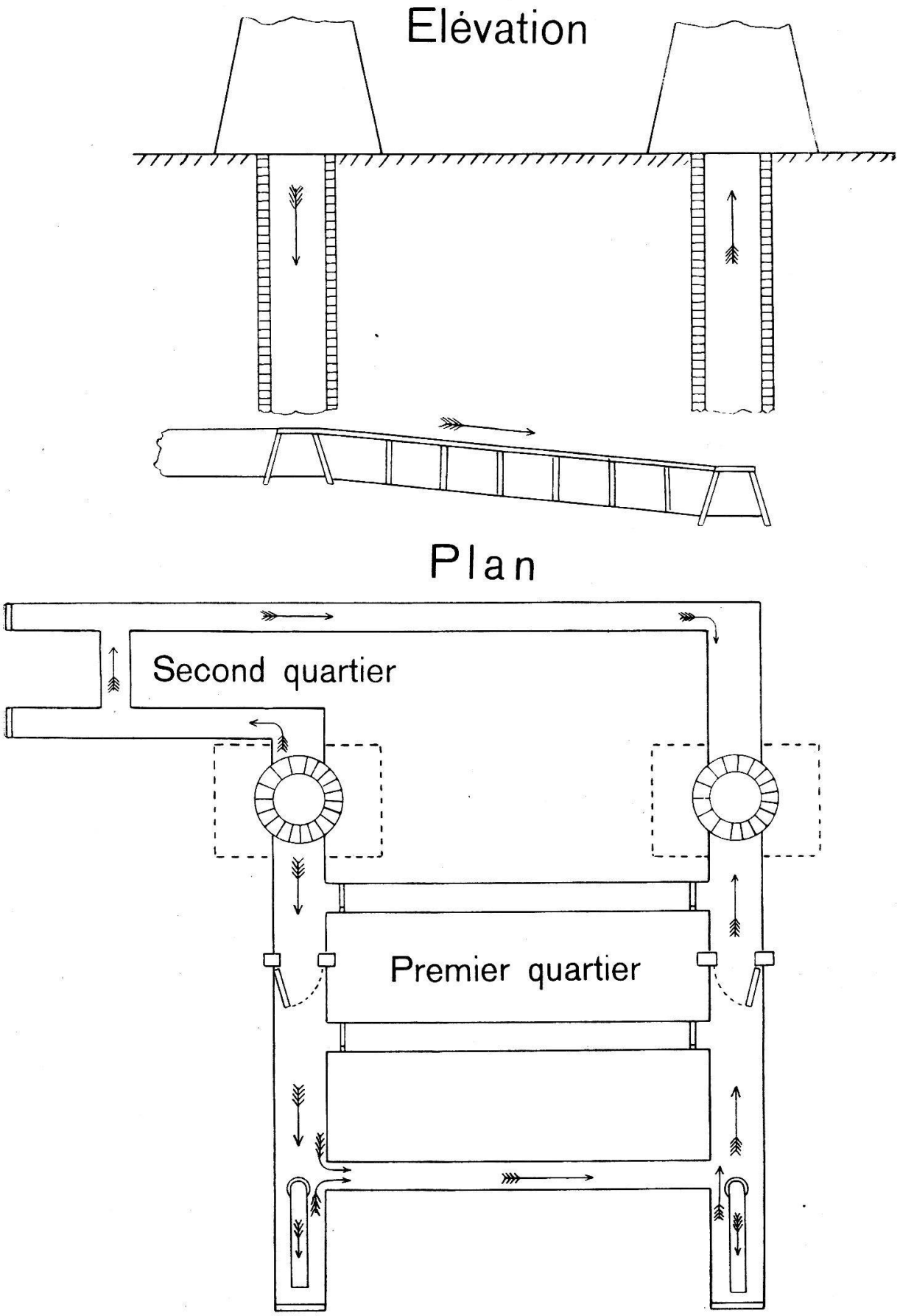

Fig. 7. Schéma d'aérage d'une mine de pétrole.

Le réseau de galeries se subdivise à son tour en galeries d'entrée et de sortie d'air, toutes deux tracées dans la direction et le plan horizontal du gisement ; les premières servent de voies d'accès aux chantiers d'abatage, et les secondes, disposées à la partie inférieure de la couche, sont les véritables galeries de drainage. L'écartement entre les premières et les secondes est d'environ 100 mètres et, pour assurer le circuit d'aérage, elles sont, en temps voulu, réunies par des galeries transversales appelées « recoupes » (fig. 7).

Le nombre de ces recoupes augmentant avec l'avancement des galeries, il vient un moment où l'aérage est insuffisant à l'extrémité des travaux, aussi a-t-on soin de placer des portes de réglage d'air dans ces galeries transversales et de les remblayer dès que le dégagement de gaz cesse de s'y produire.

Cette disposition, essentielle pour éviter toute accumulation de gaz, ne permet pas d'aérer suffisamment les galeries d'avancement dans lesquelles le gaz se dégage avec abondance, principalement à leur extrémité, désignée sous le nom de « front de taille », où les ouvriers mineurs travaillent à l'abatage de la roche. A cet effet, des ventilateurs secondaires, actionnés par des moteurs à air comprimé, sont disposés dans les galeries principales et réunis au front de taille par de forts tuyaux en tôle.

Les galeries d'une mine ne suivent pas toujours la même direction, elles ont à se plier aux conditions stratigraphiques du terrain, aussi le réseau de galeries est-il très compliqué, et cela d'autant plus que l'exploitation se fait simultanément sur plusieurs étages. La mine est alors divisée en une série de quartiers ayant chacun leur circuit d'aérage indépendant. En cas d'accident, un quartier peut immédiatement être isolé des autres grâce à une disposition de portes en acier qui en commandent l'accès (fig. 8).

Le danger d'explosion est ainsi écarté en supprimant toute accumulation de gaz et en organisant l'aérage d'une façon parfaite ; il reste à voir comment on peut parer au danger d'incendie, beaucoup plus redoutable que le premier.

Le front de taille est le point de la mine le plus exposé, puisqu'en cet endroit s'accumulent à la fois le gaz, les vapeurs d'essence et l'huile brute qui s'écoule de la roche. Si un coup de pic, mal envoyé par un mineur, au lieu de frapper la roche directement, glisse à sa surface, il agit comme un briquet et peut provoquer un incendie. Il y a aussi formation d'étincelles lorsque l'outil vient heurter un de ces nodules de pyrite de fer, si fréquents dans les sables pétrolifères.

Par suite de sa faible teneur en essence (5 à 8 %), l'huile brute de Péchelbronn ne prend pas feu instantanément, elle n'entre en combustion que portée à une certaine température ; aussi une étincelle jaillissant à la surface du front de taille allume seulement les gaz et les vapeurs de pétrole. En outre, les quantités de produits légers qui se dégagent au front d'une galerie d'avancement très productive ne dépassent pas un à deux grammes par seconde, se

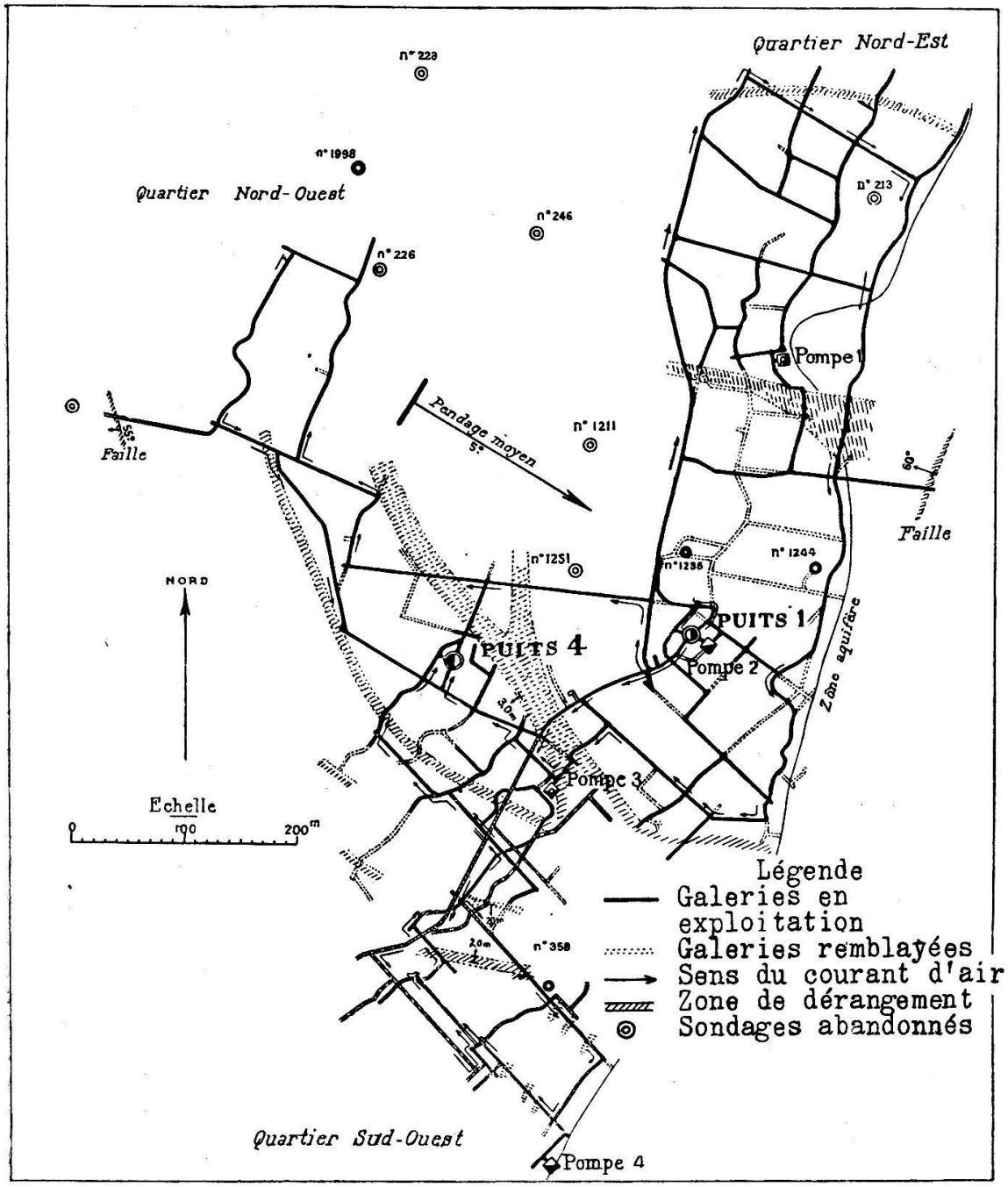

Fig. 8. Galeries du puits Clemenceau.

répartissant sur une surface de plusieurs mètres carrés. Un ouvrier piqueur peut très facilement éteindre un commencement d'incendie en se servant à temps d'un extincteur portatif. Parfois un simple coup de casquette ou de pelle a suffi pour dissiper le léger voile de flamme, signe précurseur d'un incendie.

De pareils moyens de défense sont du reste inefficaces, puisque uniquement dépendants du sang-froid du personnel ; nous n'en parlons ici que pour montrer à quels dangers étaient exposés les mineurs au début de cette industrie nouvelle. Depuis lors, l'ancien pic des mineurs a été remplacé par le marteau piqueur à air com-

primé. Dans cet outil, un fleuret d'acier vient frapper la roche à raison de 200 à 300 coups par minute, sans qu'il puisse se produire d'étincelles dangereuses.

Avant de parler des autres précautions ou mesures de sécurité prescrites pour éviter le feu dans une mine de pétrole, voyons quelles conséquences entraîne un incendie. Supposons que le feu se déclare à l'extrémité d'une galerie d'avancement ; non seulement l'huile rassemblée en cet espace est en flamme, mais les boisages voisins, souvent imbibés d'huile, s'allument successivement, avec une vitesse d'autant plus grande que l'aérage en active la combustion. Il se dégage une fumée intense et des gaz de combustion très toxiques par l'oxyde de carbone dont ils sont chargés ; aussi devient-il impossible de s'approcher du foyer et de procéder à des travaux de sauvetage.

Abandonner la mine à son sort et en arrêter la ventilation pour étouffer le feu conduirait à une catastrophe certaine. En effet, le gaz qui se dégage de toutes parts, même des anciens travaux, s'accumule rapidement dès le moment où l'aérage est interrompu ; il forme avec l'air un mélange détonnant, capable de produire une déflagration générale dans toute la mine.

Le seul moyen d'éviter la perte complète de tous les travaux souterrains est de fermer le chantier en feu par un barrage ; c'est à une équipe spéciale de sauvetage, constituée par des hommes continuellement exercés et munis de masques à oxygène, qu'est confié ce travail périlleux. Si le chantier ne peut être sauvé de cette façon, le quartier est alors sacrifié en fermant les portes en acier qui en commandent l'accès.

Nous venons de voir que la technique de l'exploitation par galeries de drainage est subordonnée aux mesures de précautions contre l'incendie, et parmi ces précautions il en est une très importante, mais tout particulièrement gênante pour une mine de pétrole, c'est l'interdiction de faire usage de l'énergie électrique, toujours capable de produire des étincelles ou des échauffements dangereux. Un transport de force par câbles électriques serait tout particulièrement avantageux dans une mine comme celle de Péchelbronn, où le réseau de galeries des trois sièges d'exploitation atteint aujourd'hui une longueur totale d'environ 70 kilomètres. Une partie de ces galeries a été remblayée, une autre est utilisée au drainage de l'huile et le reste sert de voie d'accès aux douze quartiers en activité.

Dans chacun de ces quartiers se trouve un grand nombre de moteurs, nécessaires pour actionner les marteaux piqueurs, les foreuses mécaniques [1], les ventilateurs, les treuils et les pompes servant au transport de l'huile brute et dans certains cas à l'évacuation de l'eau. Toutes ces machines marchent à l'air comprimé, fourni, sous une pression initiale de 6 kilogrammes, par des com-

[1] Les travaux d'avancement sont précédés par des sondages de protection, indispensables pour éviter le danger de dégagements subits de gaz. *Bibliographie*, nº 13, p. 88 et nº 16, p. 719 et 747.

presseurs de 1000 chevaux placés à la surface et capables de comprimer 7000 mètres cubes d'air à l'heure.

Les canalisations électriques n'étant pas tolérées dans les travaux de fond, l'éclairage de la mine se fait exclusivement par des lampes de sûreté électriques à accumulateurs et à fermeture magnétique.

Nous terminerons le chapitre de la technique du drainage par deux mots concernant la collecte et l'évacuation de l'huile. Le pétrole brut ne suinte pas de toute la surface des galeries, mais il apparaît au front de taille sur une hauteur restreinte de 10 à 60 centimètres. Il y a même des galeries très productives où l'écoulement de l'huile ne se manifeste pas du tout, au grand étonnement d'un visiteur non initié qui a peine à concevoir comment des travaux d'une telle importance peuvent aboutir à un si faible résultat.

Il faut alors lui expliquer qu'au-dessous de la galerie où il se trouve, un canal collecteur, aménagé et creusé dans la marne, permet à l'huile de s'écouler à son sortir de la roche pétrolifère. Cette disposition présente le double avantage de faire disparaître l'huile du chantier et de réduire au minimum le danger d'incendie. De ce collecteur, l'huile est amenée, par pente naturelle ou par des pompes, dans des réservoirs souterrains, où elle subit une décantation sommaire avant d'être transportée au jour par des pompages installés à la surface du sol. De cette façon, l'évacuation du pétrole brut se fait en utilisant d'anciens sondages et en évitant de placer des canalisations d'huile dans les puits où la présence de toute matière inflammable est interdite.

VI. Rendement de l'exploitation.

La production annuelle des Mines de Péchelbronn est en moyenne de 65 000 tonnes dont 30 000 environ extraites par galeries de drainage, chiffres bien modestes en regard de la production mondiale qui a atteint, en 1927, 178 millions de tonnes.

Les gisements alsaciens sont de faible étendue, à quelques exceptions près. Parmi ces derniers, le plus intéressant est celui d'une source importante de la concession, jaillissante pendant deux ans, puis pompée sans interruption pendant 35 années, qui a produit au total 25 000 tonnes d'huile. Dans les pays de grande production : les Etats-Unis, le Mexique, la Russie, la Roumanie, une source de cette importance aurait déjà de la valeur, à condition de ne pas la comparer à ces fontaines jaillissantes dont le débit a atteint jusqu'à 25 000 tonnes en un seul jour.

Si de pareilles productions sont une exception, elles donnent une idée de l'étendue incommensurable de certains gisements et permettent d'évaluer quelles quantités d'huile pourraient encore en être extraites par drainage.

Les travaux souterrains les plus productifs du siège principal s'étendent sur 1000 mètres de longueur en direction et 200 mètres

suivant la pente des strates. Ils ont exploité le gisement de la source précitée, ainsi que d'autres gisements voisins, et ont produit, en un espace de temps de trois à quatre ans seulement, une fois et demie autant d'huile que l'exploitation par sondage et pompage n'en avait donné en 30 ou 40 ans.

Le rapport entre la production des sondages et des galeries, ou coefficient de drainage, n'a pas toujours été si favorable ; il varie dans de grandes limites et dépend d'une quantité de facteurs énumérés précédemment. Un coefficient moyen de 1 à 1,2 peut être admis pour les strates régulières et importantes de Péchelbronn.

Enfin, les quantités d'huile qui subsistent encore dans un gisement épuisé par le procédé des puits et galeries sont fort importantes et à peu près égales, sinon supérieures, au tonnage de l'huile drainée.

J'ai déjà mentionné et cherché à expliquer la lenteur d'écoulement de l'huile à un sondage ; tout au contraire, l'action du drainage est remarquablement rapide. J'attribue cette grande rapidité à ce que l'expansion des gaz encore contenus dans l'huile se fait librement et avec un excellent rendement dans un massif drainé.

Le rendement du drainage peut aussi s'exprimer en tonnes d'huile produite par mètre de galerie. Le drainage d'une couche de sable de 3 à 5 mètres d'épaisseur donne facilement 10 à 15 tonnes de pétrole par mètre d'avancement ; il ne produit plus que 3 à 4 tonnes dans des couches de faible épaisseur.

Les dépôts de sable pétrolifère de Péchelbronn, loin d'être réunis en une seule couche, sont, au contraire, très disséminés. Dès que les travaux ont atteint les limites d'une zone productive, ils sont poursuivis en terrains stériles, à la recherche de nouvelles zones, déjà reconnues par les sondages, mais souvent assez éloignées des premières. Une partie des galeries de drainage se transforment ainsi en voies d'accès, dont le rendement en huile est nécessairement nul.

Ainsi le rendement des galeries varie dans des limites considérables, suivant la nature et la disposition des gisements, et, pour établir un calcul de quelque valeur, les mesures doivent porter sur un espace de temps suffisamment long. A la fin de l'année 1927, après onze ans d'exploitation, le siège le plus important avait produit un total de 170 000 tonnes, avec un réseau de galeries de 37 kilomètres, soit un rendement moyen de 4,6 tonnes par mètre.

En rapportant tous les frais d'exploitation d'une mine de pétrole, à la longueur totale des galeries creusées pendant un temps donné, le prix de revient du mètre d'avancement ressort à 48 dollars, ou à 60 dollars environ, en tenant compte de l'amortissement du capital engagé. Ce dernier chiffre, divisé par 4,6 tonnes, rendement moyen du siège principal de Péchelbronn, donne approximativement le prix de revient moyen de l'huile brute drainée, soit 13 dollars par tonne. Or, sur le marché mondial des pays produc-

Dépôt de sable à sédimentation tourmentée, avec intercalation horizontale de marne.

teurs, la valeur du pétrole brut oscille dans des limites assez grandes de 9 à 15 dollars la tonne, il atteint même plus de 20 dollars en Pensylvanie, par suite de la qualité exceptionnelle de cette huile.

Tout approximatif que soit ce calcul, il permet de faire voir comment on arrive à évaluer le prix de revient de l'huile drainée, et il nous amène à la conclusion suivante :

« L'application du procédé de drainage dans les pays de grande production, où les amas de sable pétrolifère sont disposés en couches régulières et de grandes dimensions, donnerait très probablement des rendements supérieurs à ceux de Péchelbronn et le prix de revient de l'huile drainée serait très avantageux [1]. »

Le prix de revient n'est cependant pas le seul facteur de réussite dans une entreprise de ce genre qui offre bien des aléas. A Wietze, dans le Hanovre, les Allemands exploitent aussi, depuis 1919, l'huile brute par drainage souterrain, avec une production annuelle de 20 000 à 25 000 tonnes. Cette entreprise s'est cependant heurtée au début à des difficultés de terrain boulant.

En Roumanie, une entreprise, installée d'une façon trop primitive, a été interrompue par des dégagements de gaz très puissants ; et tout dernièrement encore, un puits foncé dans ce même pays, en vue d'une exploitation par puits et galeries, a dû être abandonné parce qu'il avait été malencontreusement placé dans une région aquifère.

A Péchelbronn, le procédé de drainage, inauguré par des ingénieurs allemands, puis perfectionné par le service des Mines de l'Etat français, y est parfaitement viable au double point de vue technique et économique. En l'espace de douze ans, les mines de Péchelbronn ont extrait, de gisements déjà épuisés par les sondages, un total d'environ 280 000 tonnes d'huile, dont la valeur globale, calculée au cours français des produits raffinés qui en furent extraits, se chiffre par 200 à 250 millions de francs français.

[1] Supposons un gisement facilement accessible, formant une masse homogène de 4 millions de mètres cubes, d'une épaisseur moyenne de 5 mètres, imprégné primitivement à raison de 200 litres d'huile légère par mètre cube et qui, exploité par sondage, aurait produit 250.000 mètres cubes de pétrole brut.

Si l'exploitation subséquente par drainage donnait les mêmes quantités d'huile, on aurait :

Rendement des sondages,	250.000	mètres	cubes,	soit	31,25 %
Rendement du drainage,	250.000	»	»	»	31,25 %
Huile résiduelle,	300.000	»	»	»	37,50 %
Total	800.000	»	»	»	100,— %

Avec un quadrillage de galeries de 100 mètres sur 100 mètres, leur développement atteindra 12.000 mètres de longueur, pour une surface de 800.000 mètres carrés.

Calcul du prix de revient :

Coût du drainage : 12.000 mètres à 48 dollars,	576.000,—	dollars
Partie des frais d'installation à amortir : 12.000 mètres à 12 dollars,	144.000,—	»
Total	720.000,—	»

d'où prix de revient de l'huile brute drainée :

par mètre cube,	2,88 dollars
par baril de 159 litres,	0,46 »

VII. Conclusions.

Les problèmes qui se présentent dans cette industrie nouvelle de l'exploitation du pétrole par drainage souterrain sont si nombreux et compliqués que seul le concours simultané des géologues, des physiciens, des chimistes, des ingénieurs et des financiers arrivera à les résoudre en temps utile.

Si les concessionnaires de mines de pétrole hésitent à adopter ce nouveau mode d'extraction, c'est qu'ils jugent difficile d'établir le bilan économique de pareille entreprise. Les frais de fonçage d'un puits ou de creusage des galeries sont des données connues de tous les ingénieurs de mine ; les dangers d'accidents peuvent être, sinon écartés, du moins très limités en suivant la technique créée par les mines de Péchelbronn, mais il reste le facteur incertain du rendement des galeries de drainage.

Les quantités d'huile produites par le drainage varieront avec la saturation primitive de la roche, la composition des sables, les dimensions, la régularité, la stratification des couches pétrolifères, leur richesse en gaz, la pression de ce dernier, la fluidité de l'huile, la présence ou l'absence de couches aquifères voisines du gisement, et surtout avec la teneur en huile résiduelle des gisements déjà exploités par les sondages.

Toutes ces questions échappent à un calcul précis, l'expérience seule peut les résoudre, et cela par l'examen approfondi de chaque cas particulier.

En dehors de toute question pécuniaire, le nouveau mode d'extraction inauguré en Alsace est arrivé à démontrer l'importance des réserves de pétrole qui restent enfouies dans les gisements apparemment épuisés par les méthodes ordinaires d'extraction.

Aujourd'hui encore, la production mondiale de pétrole brut augmente en proportion des besoins croissants de la consommation en huiles minérales ; demain, il en sera peut-être autrement.

Au gaspillage actuel des gisements exploités par sondage succédera leur exploitation rationnelle, si l'exemple modeste tracé par les mines de Péchelbronn est compris et s'il peut être appliqué à d'autres gisements.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES CONSULTÉS

1. Blumer, E. Die Erdœllagerstætten, 442 p. F. Enke, Stuttgart, 1922.
2. de Chambrier. Historique de Péchelbronn, 330 p. Attinger frères, Paris-Neuchâtel, 1919.
3. de Chambrier. Considérations sur l'intermittence des sources jaillissantes d'huile brute. *Les Matières grasses,* 15 octobre 1919.

4. DE CHAMBRIER. Les Gisements de pétrole d'Alsace. *Bull. Soc. d'Encouragement pour l'Industrie nationale,* janvier-février 1920.
5. DE CHAMBRIER. La source de pétrole jaillissante de Péchelbronn. *Ibid.,* juillet 1920.
6. DE CHAMBRIER. Exploitation du pétrole par puits et galeries, 106 p. Dunod, Paris, 1921 ; ouvrage résumé par LYKIARDOPOULO. *Revue Universelle des Mines,* Liége, 1921, et par l'auteur, *in Journ. Petroleum Technologists,* London, July 1921.
7. DE CHAMBRIER. Etude économique sur l'exploitation du pétrole par drainage souterrain. *Chimie et Industrie,* Paris, mai 1923; traduit en anglais par J.-A. LAUTIER, *in Journ. Petroleum Technologists,* August 1923.
8. DE CHAMBRIER. Méthodes indirectes d'exploitation du pétrole par puits et galeries. *Revue Pétrolifère,* juillet 1925.
9. COURAU, R. Technique des Pétroles, 406 p. G. Doin, Paris, 1921.
10. GIGNOUX et HOFFMANN. Le Bassin pétrolifère de Péchelbronn, 46 p. Imprimerie strasbourgeoise, 1920, et *Bulletin du Service de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine,* 1920.
11. HAAS et HOFFMANN. Découverte d'un gisement pétrolifère jurassique dans le bassin de Péchelbronn. *Bull. Asociation Philomatique d'Alsace et de Lorraine,* tome 6, 1924.
12. LANGROGNE. Notice sur l'Exploitation par puits et galeries des gisements pétrolifères. *Annales des Mines,* avril 1921.
13. LEVI, G. Eléments de la Technique du Pétrole, 100 p. Edité par la revue *Les Matières grasses,* Paris, 1924.
14. LOUIS. Contribution à l'étude de l'Imprégnation des Sables. *Annales de l'Office national des Combustibles liquides,* septembre 1928.
15. LYKIARDOPOULO, N. La Géologie des Gisements de Péchelbronn. *Revue Universelle des Mines,* Liége, 1921.
16. PELLISSIER, A. Epuisement des gisements pétrolifères et méthodes complémentaires d'extraction. *Annales de l'Office national des Combustibles liquides,* 1926, p. 703.
17. Service des Mines, Strasbourg. Rapport annuel sur la Situation de l'industrie minérale du Bas-Rhin.
18. SCHLUMBERGER. Technique de l'Exploitation Minière à Péchelbronn. *Chimie et Industrie,* Paris, mai 1923.
19. SCHNEIDERS, G. Die Gewinnung von Erdœl, 363 p. J. Springer, Berlin, 1927.

Manuscrit reçu le 27 février 1928.
Dernières épreuves corrigées le 27 mai 1929.