

Interprétation tectonique de la région pétrolifère de la vallée de Santa Clara en Californie et considération théoriques sur les gites de pétrole

Autor(en): **Reinhard, Max**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **1 (1919)**

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-742128>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INTERPRÉTATION TECTONIQUE
DE LA
RÉGION PÉTROLIFÈRE DE LA VALLÉE DE SANTA CLARA
EN CALIFORNIE

ET
Considérations théoriques sur les gîtes de pétrole

PAR
Max REINHARD

(Avec 2 fig. et 2 pl.)

1. — INTRODUCTION.

L'abondance du pétrole, accumulé en gisements extrêmement riches dans les chaînons tertiaires de la Californie méridionale, a donné lieu à plusieurs travaux géologiques importants. Grâce à ces recherches, entreprises par des géologues américains, la structure géologique du Tertiaire californien est aujourd'hui très bien connue. Les différentes cartes géologiques des terrains pétrolifères montrent à l'évidence que les phénomènes de diastrophisme ont été particulièrement violents et ont donné lieu à une structure très compliquée. Une des régions les plus intéressantes, à en juger par les publications que j'ai pu consulter, paraît être celle de la vallée de Santa Clara. ELDRIGE et ARNOLD en ont fait une belle étude très documentée (1). ELDRIGE nous en donne une description minutieuse, accompagnée d'une carte géologique au 1:62500^e très détaillée. Malheureusement, ce savant distingué est décédé avant sa publication et ARNOLD qui

en fut chargé a complété l'étude de son savant prédécesseur par plusieurs coupes géologiques. La lecture de ce beau mémoire ainsi que mes études de gîtes pétrolifères dans diverses régions du monde m'amènent à proposer une interprétation tectonique différente. Je ne me dissimule pas les imperfections d'un pareil essai, d'autant plus qu'il ne peut être question, vu la distance et les circonstances actuelles de se rendre sur le terrain pour étudier certains points douteux. Mon excuse sera d'avoir voulu attirer l'attention sur l'application de la tectonique moderne à l'étude des gisements pétrolifères en général et à ceux de la Californie méridionale en particulier.

Si on trouve des points obscurs dans la carte d'ELDRIGE, il est étonnant qu'il y en ait si peu et qu'elle se prête si bien à une interprétation. Ceux qui ont travaillé dans des dépôts sédimentaires côtiers d'origine terrigène — où les caractères lithologiques sont aussi variables que peu nets et où les changements de facies dans le sens horizontal sont aussi fréquents que les récurrences dans le sens vertical — ne peuvent qu'admirer l'œuvre des géologues américains dans le tertiaire californien. Nous ne pouvons que rendre hommage à ces pionniers et tout particulièrement à ELDRIGE et ARNOLD.

2. — STRATIGRAPHIE.

La région septentrionale de la vallée de Santa Clara est la continuation orientale de la chaîne de Santa Ynez, orientée E-W, au pied de laquelle s'étale, vers le S, la côte pacifique de Santa Barbara (2). Les chaînons qui s'étendent au S de la vallée de Santa Clara sont le prolongement occidental de la chaîne de San Gabriel. Toute la région est presque exclusivement formée par des dépôts tertiaires et plus récents. Dans le coin SE de la carte, seul un lambeau de roches cristallines, granites et gneiss écrasés, apparaît comme dernier vestige de formations analogues beaucoup mieux développées plus à l'E, dans la haute chaîne de San Gabriel. ELDRIGE les assimile aux granites de la Sierra Nevada du jurassique supérieur. La question se pose si on ne devrait pas les considérer plutôt comme la continuation des roches cristallines du Coast Range, qui sont probablement

paléozoïques (2). Les sédiments les plus anciens, occupant une surface considérable dans la partie NW de la région considérée, sont d'âge éocène (formation¹ *Topatopa*).

Nous n'insistons pas ici sur la description lithologique et paléontologique des différents dépôts qu'on trouvera dans l'ouvrage d'ELDRIGE et ARNOLD (1). Les caractères saillants sont donnés dans la légende de notre carte géologique et nous nous bornerons à mentionner quelques traits généraux. Il faut tout d'abord insister sur le fait que les limites entre les différentes formations sont souvent incertaines. Tel est le cas pour les formations *Topatopa* et *Vaqueros* et plus encore pour le *Vaqueros* et le *Modelo*. Ces deux dernières formations se ressemblent beaucoup et si les intercalations de grès, sur lesquelles les délimitations sont basées, n'existaient pas, une séparation serait impossible. La formation *Modelo*, comprenant les dépôts du Miocène moyen (équivalent des *Monterey shales*), est composée d'une série de grès et d'argiles. Sur leur carte géologique, ELDRIGE et ARNOLD la divisent en trois horizons que nous répétons dans notre carte, soit deux zones de grès n° 1 et 2, surmontées d'une zone argileuse. Par contre dans le texte, les auteurs mentionnent une intercalation d'argiles entre les deux zones de grès et subdivisent ainsi le *Modelo* en quatre horizons : 1) grès, 2) argiles, 3) grès et 4) argiles. Nous verrons plus loin, dans le chapitre sur la tectonique, qu'on arrive à des interprétations différentes suivant que l'on admet l'une ou l'autre de ces divisions. Jusqu'ici toutes les formations reposent en concordance l'une sur l'autre. Tel n'est plus le cas pour la formation *Fernando* (Miocène supérieur, Pliocène et base du Pleistocène) qui bute en discordance contre le *Modelo* partout où les contacts sont nettement visibles. C'est dans cette formation, côtière par excellence, que les conglomérats et les grès prédominent, formant des dépôts qui atteignent par endroits plus de 3000 m d'épaisseur. Le Pleistocène supérieur et les alluvions modernes, réunis dans notre carte, sont figurés séparément par ELDRIGE et ARNOLD. Le fait que le Pleistocène supérieur est encore faiblement incliné,

¹ Nous avons conservé le terme de « formation », employé par les géologues américains. Ces « formations » correspondent à nos étages et sous-étages.

de 2 à 10°, justifierait cette séparation s'il s'agissait réellement d'un redressement.

Insistons, pour terminer cet aperçu stratigraphique, sur une observation de la plus grande importance, qui nous a suggéré en partie les lignes directrices de la tectonique. Nous voulons parler de la différence de facies qui existe entre les formations développées de part et d'autre de la vallée de Santa Clara. ELDRIGE et ARNOLD l'ont si bien relevé, qu'ils ont été amenés à faire une distinction dans la description stratigraphique entre la partie située au N de la vallée et celle du versant méridional. Seule la formation *Fernando* fait exception à cette règle. Cette différence peut aller jusqu'à la disparition complète d'une formation et c'est ainsi que le *Modelo*, très développé dans la partie septentrionale, n'est plus représenté sur le versant S de la vallée de Santa Clara. L'explication logique de ces faits découlera des coupes établies à travers la région.

3. — TECTONIQUE, PLISSEMENT DIAPIR.

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, les coupes jointes à l'étude d'ELDRIGE et ARNOLD ont été élaborées par ce dernier. Ce savant représente la région comme étant formée par des plis simples, morcelés par une quantité de failles plus ou moins verticales. Pour expliquer les différences de facies des deux côtés de la vallée de Santa Clara, ARNOLD admet l'existence d'une « énorme faille » s'atténuant peu à peu vers l'E. On peut se demander si cette interprétation est justifiée ou, au moins, si c'est la seule possible. MARCEL BERTRAND a été le premier à attirer l'attention sur le fait que dans les régions plissées les contacts anormaux, parallèles aux lignes directrices des plissements, doivent être envisagés comme des plis-failles et des traces de plans de chevauchement (3). Nous voulons essayer de nous faire une image de la structure de la région considérée, en appliquant les principes du grand géologue français. En même temps, nous tiendrons compte du fait que les plissements sont généralement disharmoniques et que le diastrophisme se complique en profondeur. C'est ce qu'on a constaté, par exemple, dans les régions du flysch carpatique. De plus, les impor-

tantes découvertes de BUXTORF dans le Jura (4) semblent indiquer qu'il s'agit bien d'un phénomène général. Notre synthèse montrera que les points qui paraissaient obscurs à ELDRIGÈ et ARNOLD sont susceptibles d'interprétation et nous ajouterons qu'ils ont été pour nous en quelque sorte un point de départ. De plus, l'on verra que certaines parties de la carte géologique qui paraissent parfaitement simples, à première vue, ne résistent pas à une analyse tectonique.

Nous avons déjà relevé le fait, d'ordre stratigraphique, que le facies des dépôts de part et d'autre de la vallée de Santa Clara est différent. Ajoutons une observation d'ordre tectonique, à savoir que malgré la direction générale E-W des plis, il existe dans la région des endroits où l'allure des têtes de couches est nettement perpendiculaire sur la direction générale du plissement. De ces deux faits, désormais classiques pour les régions charriées, le premier nous indique que nous nous trouvons ici probablement en présence de nappes de recouvrement et le second, que les plans de chevauchement sont inclinés dans le sens longitudinal. L'existence de séries renversées, ainsi que d'innombrables contacts anormaux, nous paraît confirmer cette hypothèse.

A. *Partie située au N de la vallée de Santa Clara.*

En examinant notre carte géologique on peut supposer que le charriage s'est effectué dans le sens du Méridien, du N au S avec un plongement axial de l'W à l'E. Dans la partie occidentale de la carte où l'érosion a plus profondément entamé les éléments tectoniques, nous voyons sortir le flanc renversé d'une nappe. A l'extérieur de la série renversée, pincé entre celle-ci et un pli aigu « diapir », apparaît un synclinal qui est bientôt débordé vers l'E par la série renversée de la nappe inférieure I (voir coupe I de la planche). Il est impossible de déterminer pour la région représentée sur la carte, si la formation *Modelo* des « Sulpur Mountains » est autochtone ou si elle représente la carapace d'une nappe inférieure à la nappe I. Dans tous les cas le *Modelo* est refoulé sur la formation *Fernando*. Au fur et à mesure qu'on avance vers l'E on constate l'apparition des parties plus élevées de la nappe inférieure.

Le long du profil II de notre planche, la formation la plus ancienne, le *Topatopa*, est charriée par-dessus le Pliocène (*Fernando*). A l'E du « Sespe Creek », dans la région représentée par les coupes III et IV, nous nous trouvons dans la carapace plissée de la nappe inférieure. Dans cette partie, la formation *Modelo* est très développée et deux alternatives tectoniques sont possibles ici, suivant qu'on se base sur la subdivision du *Modelo* en trois ou en quatre horizons dont nous avons parlé plus haut. La carte d'ELDRIGE ne marque aucun contact anormal entre le grès n° 2 de la formation *Modelo* et les argiles de la même formation. Or, s'il n'y a pas de contact mécanique, les argiles doivent être plus anciennes que le grès n° 2, comme on s'en convaincra facilement en examinant l'allure des synclinaux et anticlinaux secondaires. Les argiles du « Hutton Peak » seules correspondront alors aux argiles supérieures du *Modelo* et il faudra considérer la zone argileuse bordant le grès n° 2 comme étant intermédiaire entre le grès n° 2 et le grès n° 1; nous aurons une succession normale et la carapace d'une seule et unique nappe. Dans les profils ARNOLD dessine une faille entre les argiles et le grès n° 2. Nous avons adopté cette manière de voir sur notre carte, en considérant toutefois le contact mécanique comme étant la trace d'un chevauchement. Ainsi nous pouvons envisager les grès n° 2 et les argiles superposées comme étant des vestiges d'une nappe supérieure II, pincée dans un synclinal dédoublé de la nappe I (voir coupe III et IV de la planche). Nous ne pouvons pas déterminer laquelle des deux interprétations est la vraie, mais nous inclinons plutôt en faveur de la plus simple, à savoir de ne pas dédoubler la nappe. Dans ce cas, il faudrait modifier la carte, en ajoutant un horizon d'argile entre le grès n° 1 et n° 2 de la formation *Modelo*.

B. Versant méridional de la vallée de Santa Clara.

Nos données ne sont pas suffisantes pour établir si cette partie est charriée ou autochtone. Dans la région occidentale, l'allure des plis est assez régulière et simple. Dans la coupe IV nous avons apporté une modification à celle d'ARNOLD, en faisant sortir la formation *Sespe* au centre de l'anticlinal situé immédiatement au S de la vallée. Dans la région des « Santa Susanna

Mountains » et du « Fernando Pass » la structure devient plus compliquée, mais faute de coupures plus profondes on ne sortira jamais de l'hypothèse.

L'interprétation tectonique de la région de Santa Clara en général est souvent rendue difficile à cause de la formation *Fernando*. Les dépôts de cette formation ne prennent plus part à l'édification des nappes dans la même mesure que les formations plus anciennes et les éléments tectoniques sont souvent masqués par des dépôts considérables de conglomérats pliocènes.

Nous n'avons nullement la prétention de croire que les solutions que nous venons de proposer soient parfaites. Nous les soumettons au contraire à la critique de nos savants collègues d'outre mer, qui sont plus qualifiés et mieux en état que nous d'en juger la possibilité et d'en contrôler le degré d'exactitude.

En résumé, nous concluons que la région de Santa Clara nous paraît être formée de plis et de nappes d'une allure spéciale que nous désignons, suivant MRAZEC, sous le nom de plis et nappes diapirs. Ce diastrophisme spécial, très caractéristique pour certains pays, ne paraît pas encore avoir attiré l'attention qu'il mérite. Ainsi WILCKENS, dans sa géologie tectonique (5), ne le mentionne pas et nous saisissons l'occasion d'en tracer les caractères saillants. Il y a une douzaine d'années, MRAZEC est arrivé, en examinant la tectonique de la région subcarpatique de la Roumanie, à l'interpréter d'une façon aussi simple que conséquente. Et, ajoutons-le, ce savant perspicace n'a pas manqué d'y voir un phénomène qui ne saurait être limité au pays qu'il analysa. Avec sa clairvoyance, il le considéra déjà comme étant propre aux régions de dislocations jeunes, produites à une faible profondeur par une « sous-poussée ».

MRAZEC a nommé *plis diapirs* des « plis à noyau de perçement » (6). « Dans ce type de pli, les couches du noyau sont plus fortement redressées que les couches de son toit, qui se rapprochent de l'horizontale à mesure qu'on s'éloigne de l'axe du noyau. » Les plis diapirs peuvent être droits, déjetés ou déversés. Par l'intermédiaire d'un pli à noyau percé peuvent se développer des chevauchements (voir fig. 1).

Les plis diapirs sont très fréquents dans les régions pétrolifères de la Roumanie, de la Galicie et du Caucase et j'en ai cons-

taté de très typiques dans les dépôts tertiaires des îles de la Sonde. En Roumanie et en Galicie, la structure est souvent encore compliquée par la présence de massifs de sels, formant le « noyau de percement » et j'incline à les considérer dans le sens d'ARRHENIUS et LACHMANN comme de véritables « Ekzeme » (7). Mais nous avons des exemples plus proches. Le plissement diapir est la forme de dislocation typique de la molasse subalpine, Il suffit de jeter un coup d'œil sur les profils que nous en donne ALB. HEIM dans sa géologie de la Suisse (8). Les chevauchements par exagération d'un percement n'y manquent pas non plus. HEIM relève la différence qui existe entre les dislocations de la molasse et celles des Alpes et en expliquant les causes, il ar-

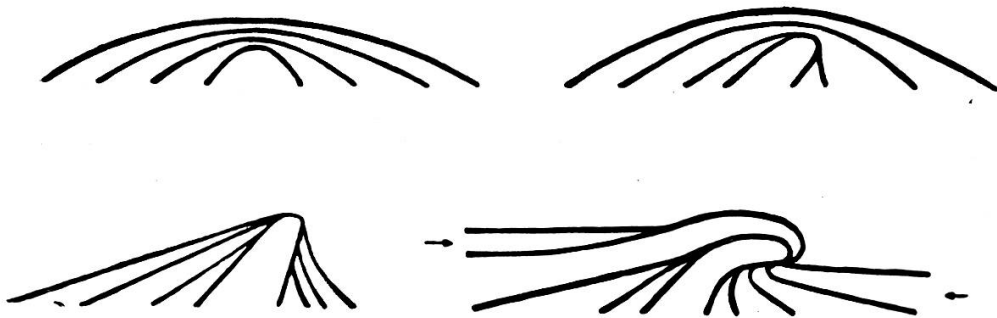


Fig. 1.

Différentes formes de plis diapirs (d'après MRAZEC).

rive à des conclusions qui se rapprochent de celles de MRAZEC. S'il ne voulait pas citer les travaux de ce savant, nous regrettons qu'il n'ait pas employé au moins sa nomenclature. HEIM considère les plis diapirs molassiques comme étant le résultat d'une seule poussée et nous le croyons volontiers. Mais s'il appelle cette dislocation « harmonique » il nous paraît employer ce terme dans un sens autre qu'on ne lui a attribué généralement. Pour nous, le plissement diapir est un plissement disharmonique des plus typiques.

Certaines indications nous permettent d'envisager les plis de la région de Santa Clara comme étant des plis diapirs, donc disharmoniques. Par augmentation de la poussée, un de ces plis diapirs au moins s'est transformé en nappe charriée. Ces nappes diapires sont différentes des plis-nappes. En effet, le diastro-

phisme s'étant produit à une faible profondeur, des ruptures se sont formées dès le début, le noyau perçant divisant la partie charriée de la partie « sous poussée » (voir fig. 2).

Une des caractéristiques de la nappe diapire est qu'elle ne possède pas de flanc renversé étiré. Si l'on trouve des couches renversées, elles ne forment que des paquets peu importants. On cherchera en vain les charnières anticlinales à la partie frontale d'une pareille nappe et la région de la racine est particulièrement mal définie. Nous avons dit que c'est là un phénomène plutôt superficiel, comme l'ont envisagé MRAZEC et HEIM. Il est peut-être préférable de ne pas insister sur la localisation de la cause qui le produit. En effet, il se peut très bien que ce



Fig. 2.

Nappe diapire en formation (d'après MRAZEC).

I. partie charriée; II. partie sous-poussée.

soit seulement la conséquence d'un phénomène profond qui se présente à nous dans une zone voisine de la surface. C'est ainsi que dans un pays à nappes diapires peuvent exister, à de plus grandes profondeurs des plis-nappes. Les dislocations de la molasse subalpine nous donnent l'image du phénomène très près de la surface. Dans cette zone superficielle l'effet du charriage n'est souvent pas visible, l'érosion ayant travaillé en concordance avec le refoulement. Le paquet charrié est ainsi détruit au fur et à mesure qu'il avance. Les dislocations dans la région de la vallée de Santa Clara, semblables à celles décrites par MRAZEC dans les Carpates Roumaines et par UHLIG dans les Carpates orientales (9), nous paraissent présenter le même phénomène, mais à une profondeur plus grande. En effet, les régions sont plus profondément attaquées par l'érosion. Dans les Alpes, par contre, nous voyons le résultat du diastrophisme de grande profondeur, mis à nu par une érosion considérable.

4. — AGE DU DIASTROPHISME.

Grâce à la discordance stratigraphique qui existe entre le *Modelo* supérieur et la formation *Fernando*, l'âge du chevauchement peut être fixé assez exactement. Jusqu'au Miocène moyen toutes les formations sont concordantes et aucun mouvement orogénique ne s'est produit. Les dépôts du Miocène supérieur butant en discordance contre le Miocène moyen, cette date marque le début du diastrophisme. Les mouvements se sont succédés depuis lors. La formation *Fernando*, comprenant aussi la base du Pleistocène, est fortement plissée et si le Pleistocène supérieur est redressé, comme l'indiquent ELDRIGE et ARNOLD, le refoulement aurait continué jusqu'à une époque plus récente. N'oublions pas, en effet, que nous nous trouvons dans un pays célèbre par ses tremblements de terre. Aurions-nous ici peut-être l'effet d'un déplacement du continent américain vers l'W, déferlant sur le Sima pacifique, comme le conçoit avec tant de témérité WEGENER (10)?

5. — DISTRIBUTION DU PÉTROLE DANS LA RÉGION DE SANTA CLARA.

Les accumulations de pétrole se trouvent en quantité variable dans toutes les formations de la région de Santa Clara, *les roches éruptives y comprises*. La distribution de ce minéral liquide n'est donc pas limitée stratigraphiquement. Au point de vue tectonique on constate l'influence favorable des plis secondaires des nappes sur l'accumulation du pétrole. Ce dernier a surtout été concentré dans les anticlinaux; dans la région du « Sespe Canyon » on le trouve cependant en quantité exploitable aussi dans le synclinal. Dans la partie occidentale de la région des gisements se sont formés le long des plans de chevauchement, dans la partie chevauchée.

Si l'on compare cette distribution du pétrole à celle des Carpates Galiciennes et Roumaines, on est frappé de leur grande analogie. Les conditions tectoniques qui influencent au premier chef l'accumulation sont, en effet, analogues dans les deux régions. Cette analogie entre les gisements Californiens et Carpatiques va jusqu'à imprimer aux pétroles des deux contrées une

composition chimique et des propriétés physiques semblables. C'est encore parfaitement logique, la migration forcée des hydrocarbures provoquant sans aucun doute des réactions chimiques complexes et non seulement une filtration dans le sens de DAY (11). Cette distribution du pétrole dans la région de Santa Clara nous amène à dire quelques mots sur la classification des gîtes pétrolifères en général.

6. — CLASSIFICATION DES GISEMENTS DE PÉTROLE ; MIGRATION.

L'idée de Harris (12) de distinguer deux grandes classes de gisements pétrolifères nous paraît parfaitement justifiée. Nous opposons ainsi les gisements où le pétrole est concentré en un horizon stratigraphique déterminé aux gisements à distribution irrégulière.

Dans le premier cas, réalisé par exemple dans la région des Appalaches et du centre des Etats-Unis (mid continent field) les couches ne sont que très faiblement ondulées et la migration régionale a été provoquée par des agents indépendants des mouvements orogéniques. L'influence des conditions tectoniques sur l'accumulation des hydrocarbures rivalise avec l'influence, souvent prépondérante, de la composition lithologique des roches et le degré de saturation en eau salée des couches perméables. Une prognose sur l'emplacement des gisements est ici souvent difficile et même impossible.

Dans la seconde catégorie de gisements, à distribution irrégulière, la migration forcée et souvent lointaine a été provoquée par des dislocations violentes. Je fais entrer dans cette classe :

1° Les gisements associés aux massifs de sel. Les dislocations intenses, observées dans ce cas, ne sont pas orogéniques, mais doivent être envisagées dans le sens d'ARRHENIUS et LACHMANN (7) comme un mouvement isostatique. Ce type est réalisé en Allemagne septentrionale (Wietze-Hannover) et sur une plus grande échelle dans la région côtière du Texas-Louisiane (gulf coastal plain).

2° Les gisements des plis et nappes diapirs, représentés en Californie en général et plus spécialement dans la région de

Santa Clara. Dans les zones pétrolifères carpatiques, les gisements présentent la plus grande complication grâce à la présence de massifs de sel à l'intérieur de plis et nappes diapirs. La prospection est délicate et demande des levés géologiques très détaillés.

Le trait d'union entre les deux grandes catégories de HARRIS est donné par de nombreux gisements, distribués universellement. Ainsi les îles de la Sonde nous en fournissent un exemple typique et simple. Dans ce cas les conditions tectoniques, favorisant l'accumulation, sont souvent d'une simplicité idéale, se prêtant admirablement à une prognose certaine et une exploitation systématique. C'est ici que l'anticlinal fermé présente la structure la plus favorable pour l'accumulation des hydrocarbures si ceux-ci sont accompagnés d'une quantité suffisante d'eau salée, ce qui est toujours réalisé aux Indes. Par contre le synclinal est pétrolifère quand l'eau fait défaut.

Comme on le voit, le développement qu'ont pris les méthodes d'exploration, par exemple en Amérique et dans les Indes néerlandaises, est justifié en quelque sorte par les conditions géologiques. Ici des études détaillées ont généralement précédé les travaux d'ingénieurs, là la recherche au hasard — le fameux « wild catting » — a été longtemps la méthode favorite. Chose curieuse, la « théorie anticlinale », qui a rendu de véritables services pratiques pour certains gisements, fut inventée par plusieurs géologues successivement en Pennsylvanie, où les conditions qu'elle réclame ne sont pas réalisées, comme le démontrent les cartes structurales classiques des géologues américains. Si ces derniers y voient toujours une confirmation de la « théorie anticlinale », ils nous paraissent lui donner un sens trop général qui ne correspond plus à la définition primitive. Accumulation des hydrocarbures gazeux et liquides dans les parties axiales des anticlinaux, telle est sans autre la formule de cette théorie qui n'est pas réalisée universellement.

En résumé nous voyons que la migration régionale est un des facteurs de première importance, déterminant la concentration des hydrocarbures en gisements importants. Si nous voulions nous baser sur des observations de détail qui paraissent corroborer cette manière de voir, nous pourrions mentionner

la présence de pétrole exploitable dans le lambeau granitique, situé dans le coin SE de notre carte. Cet exemple unique au monde a tout particulièrement embarrassé les géologues. Ceux-ci sont unanimes — à l'exception toutefois de HÖFER — pour le qualifier de gisement secondaire et nous nous trouvons en présence d'une migration de pétrole. En nous basant sur nos considérations tectoniques on découvrira facilement la cause de ce phénomène. Ou ce lambeau granitique a été débordé par une nappe de Tertiaire pétrolifère et le liquide s'y est infiltré, ou le lambeau est charrié lui-même par-dessus le Tertiaire, contenant du pétrole. Les observations nous manquent pour dire laquelle des deux alternatives est la vraie.

Une autre condition, qui ne s'explique guère qu'en admettant une migration, est plus souvent réalisée. Il s'agit de la présence de gisements de pétrole, associés à des eaux salées, dans des dépôts d'eau douce.

Mais nous avons la conviction qu'un détail, pris à part, est peu fait pour interpréter une grande cause. Si HÖFER, une autorité en la matière, se cramponne dans ses compilations sur le pétrole (13), à des observations locales se prêtant à des interprétations multiples, pour en dégager ensuite des lois générales, il nous paraît manquer d'esprit scientifique. Nous voyons dans cette manière d'envisager les choses la raison pour laquelle il n'est jamais arrivé à comprendre que les hydrocarbures — mélange de corps liquides et gazeux, si susceptibles de ruptures d'équilibre mécanique — ne peuvent qu'être chassés de certaines régions pour pénétrer dans les parties de moindre résistance.

Nous n'avons rien dit des roches mères du pétrole de la région de Santa Clara. Nous ne possédons pas assez de matériel pour discuter cette question d'une manière objective.

Mais ajoutons encore, pour terminer, une observation qui nous a souvent préoccupé. Parmi les véritables naturalistes, les esprits les plus avisés et les plus critiques nous ont fait entrevoir dans la formation des hydrocarbures naturels un des grands phénomènes de la Nature. La genèse du pétrole, la migration et l'accumulation en gisements exploitables forment un enchaînement de problèmes géologiques complexes. Les hypothèses chimiques, si géniales qu'elles soient, n'interviennent qu'en

seconde ligne et les spéculations des profanes sont impuissantes à contribuer à un éclaircissement. Que ceux qui écrivent des traités sur le pétrole s'en rendent compte. La littérature sur ces sujets est très vaste, il s'agit maintenant de trier les observations dignes de foi d'un grand nombre de publications, malheureusement trop souvent dépourvues de quelque valeur scientifique. Et il s'agit ensuite de coordonner les bonnes observations pour en dégager les lois générales. Cette science est encore dans son enfance et les errements ne lui ont pas été épargnés. Mais le moment est proche où ses défauts vont s'atténuer. Quand on voit, dans les traités sur le pétrole, les auteurs se perdre dans un fouillis de petits détails, compilés sans critique, et confronter sans discernement des recherches consciencieuses d'observateurs expérimentés et des spéculations de géologues improvisés, on ne peut pas se soustraire à un sentiment de malaise et on est tenté de taxer ces méthodes de légèreté.

Laboratoire de Géologie de l'Université de Genève,
Décembre 1918.

REMARQUES CONCERNANT LA CARTE ET LES COUPES
GÉOLOGIQUES.

Notre carte est une réduction de la carte géologique 1 : 62500^e, levée par ELDRIGE. Les contacts mécaniques sont indiqués comme de simples failles par l'auteur ; nous les avons figurés comme étant les traces de plans de chevauchement. Nous avons marqué un pareil contact anormal sur notre carte entre les grès n° 2 et les argiles sousjacentes de la formation *Modelo*, contact qui n'est pas indiqué sur la carte d'ELDRIGE. Nous avons discuté plus haut une autre alternative qui pourrait être envisagée. Elle entraînerait des modifications plus grandes de la carte, mais présenterait une solution tectonique plus simple. Comme nous avons tenu à ne pas trop altérer la carte d'ELDRIGE, nous avons solutionné le problème en indiquant le contact anormal, marqué du reste dans les coupes d'ARNOLD. Les facies des deux côtés de la vallée de Santa Clara étant différents, il vaudrait mieux subdiviser chaque zone indépendamment, comme on est arrivé à le

faire pour chaque nappe dans les pays charriés. L'image tectonique ressortirait plus clairement en choisissant des couleurs ou des signes différents pour les deux parties.

La carte géologique ne donnant pas beaucoup d'indications sur le plongement des couches, nous avons fait correspondre l'emplacement de nos coupes avec les profils suivants d'ARNOLD :

Coupe I = Profil A-A' ARNOLD.

Coupe II, partie au N de la vallée de Santa Clara = Profil E-E' ARNOLD.

Coupe II, partie au S de la vallée de Santa Clara = Profil D-D' ARNOLD.

Coupe III = Profil F-F' ARNOLD.

Coupe IV, partie au N de la vallée de Santa Clara = Profil G-G' ARNOLD.

Coupe IV, partie au S de la vallée de Santa Clara = Profil H-H' ARNOLD.

BIBLIOGRAPHIE

1. ELDRIGE, G.-H. et ARNOLD, R. The Santa Clara Valley, Puente Hills and Los Angeles oil districts, southern California. *U. S. geol. Survey, Bulletin*, n° 309, 1917.
2. SUSS, Ed. La face de la Terre (traduction française), tome III (3^e partie), 1913.
3. BERTRAND, M. Mémoire sur les refoulements qui ont plissés l'écorce terrestre et sur le rôle des déplacements horizontaux. *Mémoire de l'Académie des Sciences* (présenté en 1890), Paris, 1908.
4. BUXTORF, A. Prognosen und Befunde beim Hauensteinbasis- und Grenchenbergtunnel, etc. *Verhandl. d. naturf. Ges. in Basel*, Bd. XXVII, 1916.
5. WILCKENS, O. Grundzüge der tektonischen Geologie, 1912.
6. MRAZEC, L. Les plis à noyaux de percement. *Bulletin de la Soc. des Sciences de Bucarest*, 1906.
MRAZEC, L. Despre formarea zăcămintelor de petrol din România. *Academia Română, discursuri de receptiune*, XXX, Bucuresti, 1907.

- MRAZEC, L. Über die Bildung der rumänischen Petroleumlagerstätten. *Congrès intern. du pétrole*, 3^e session, Bucarest, 1907. Comptes rendus, tome II, mémoires.
- MRAZEC, L. Guide des excursions. *Congrès intern. du pétrole*, 3^e session, Bucarest, 1907.
- MRAZEC, L. Les gisements de pétrole. Dans l'industrie du pétrole en Roumanie. *Ministère de l'industrie et du commerce*, Bucarest, 1910.
7. ARRHENIUS, S. et LACHMANN, R. Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. *Geologische Rundschau*, Bd. III, 1912.
8. HEIM, ALBERT. Geologie der Schweiz, 1916. A. Die Molasse.
9. UHLIG, V. Über die Tektonik der Karpathen. *Sitzungsber. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien, mathem. naturw. Klasse*, Bd. CXVI, Abt. I, Juni 1907.
10. WEGENER, A. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, 1915.
11. DAY, D. Les variations des caractères des huiles brutes de Pennsylvanie et de l'Ohio. *Congrès intern. du pétrole*, Paris, 1900.
12. HARRIS, O. Oil and gas in Louisiana. *U. S. geolog. Survey, Bulletin* n° 429, 1910.
13. HÖFER, H. Das Erdöl und seine Verwandten, 3. Aufl., 1912.
- ENGLER, C. et HÖFER, H. Das Erdöl, Bd. II, 1909.
-

