

## Les eaux des gisements pétrolifères,

par J. DELECOURT.

Le Professeur H. SCHOELLER, de la Faculté des Sciences de Bordeaux, nous a donné en 1956, une excellente étude sur la *Géochimie des eaux souterraines* et sur son *Application aux eaux des gisements de pétrole* [1].

La même année W. H. Freeman & Co, de San-Francisco, publiait « *Geology of Petroleum* » de M. LEVORSEN [2]. Dans ce travail remarquable, on trouve neuf analyses d'eaux de gisements.

La documentation analytique reproduite dans l'étude du Professeur SCHOELLER est beaucoup plus abondante.

En 1939, je croyais pouvoir affirmer que « *les phénomènes de salure des eaux ne sont pas comme on l'a cru longtemps, connexes à l'existence de gisements pétrolifères ou houillers. Ils sont généraux et peuvent se produire dans toutes les formations* » [3].

Les travaux de MM. LEVORSEN et SCHOELLER m'apportent de nouvelles preuves de cette affirmation. Il semble donc utile de classer les eaux des gisements pétrolifères, comme toutes les autres, suivant une méthode générale. Celle que j'ai proposée en 1946 est actuellement acceptée par beaucoup de spécialistes [4].

Je me propose de montrer qu'elle convient aussi bien pour les eaux de gisements pétrolifères que pour toutes les autres.

\*  
\*\*

Je rappelle très rapidement les principes de ma méthode générale de classement géochimique des eaux. Elles sont d'abord différenciées par l'acidité ou la neutralité. Il existe donc une *région acide* qui est celle des eaux au voisinage de l'infiltration.

Les analyses d'eau de gisement de pétrole ne donnent en général aucune indication sur l'acidité. Elles n'indiquent ni le pH, ni le titre agressif des eaux.

La région des *eaux neutralisées* sera donc seule examinée. Mais comme nous ne pouvons séparer une eau agressive d'une eau dure proprement dite, sans connaître leurs acidités respectives, limitons pour l'instant nos investigations à ce qui

se trouve au-delà de la *limite de salure*. Nous pourrions donc examiner les successions suivantes :

Limite de salure	... ..	Th = 6°	Tn > 0°	
V. — Zone des eaux douces sodiques	... ..	Th < 6°	Tn > 0°	
Limite de sursalure	.. ..	Th = 6°	Tn > 0°	
VI. — Zone des eaux sursalées natroniques	.. ..	Th > 6°	Tn > 0°	
Limite de carbonatation	.. ..	Th > 6°	Tn = 0°	
VII. — Zone des eaux paraconnées	... ..	Th > 6°	Tn < 0°	Tb < 0°
Ligne des Tb nuls	... ..	Th > 6°	Tn < 0°	Tb = 0°
VIII. — Zone des eaux peronnées	... ..	Th > 6°	Tn < 0°	Tb > 0°

Rappelons que Th est le *titre hydrotimétrique total* exprimé en degrés hydrotimétriques français. Dans la même unité, Tn est le *titre natronique*. Il indique le sens du déséquilibre chloro-alkalin suivant qu'il est positif ou négatif.

Quant au Tb, je vais en parler plus longuement en donnant un premier exemple numérique.

\*  
\*\*

Je note équivalentairement l'analyse d'une saumure naturelle de Pomeroy (Ohio). La notation originale de C. W. FALK (1906) a été transformée par F. W. CLARKE en pourcentages ioniques [5]. J'ai recalculé en ions par litre de solution pour pouvoir passer à l'analyse équivalentaire ou plus exactement en millivalences. Le calcul est un peu long et l'avis du Professeur SCHOELLER absolument justifié en ce qui concerne l'inutilité des transcriptions en *pourcentages* ioniques.

Le tableau I donne sous ces réserves :

TABLEAU I.

*Saumure naturelle de Pomeroy.*

m CO <sub>3</sub> =	0,00	m Ca =	258,25
m SO <sub>4</sub> =	none	m Ba =	1,61
m Cl =	1.825,15	m Sr =	1,67
m Br =	1,71	m Mg =	119,25
m I =	tr	m Na =	1.441,22
		m K =	1,62
<hr/>		<hr/>	
m A =	1.826,86	m B =	1.823,62
Salinité	... ..	105.105	mg/l
SiO <sub>2</sub>	.. ..	11	mg/l
(Fe <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> )O <sub>3</sub>	... ..	84	mg/l
Minéralisation	... ..	105.200	mg/l

Cette saumure ne contient que des chlorures, un peu de bromures et des traces d'iodures. Si l'on suppose que dans le résidu sec tout le brome est combiné au magnésium, on peut admettre que tout le calcium est combiné au chlore pour donner  $\text{CaCl}_2 = 258,25 \times 55,5$  de chlorure calcique. On a donc  $\text{CaCl}_2 = 14.333 \text{ mg/l}$ .

L'absence de carbonates et de sulfates est constatée par le chimiste. Dans ce cas, la chloruration purement calcique pourrait s'exprimer par :

$$\text{Tb} = 258,25 \times 5 = (+ 1.291,25).$$

En pratique, pour tenir compte des sulfates, des carbonates, des bromures, du baryum et du strontium, on pose dans un cas général :

$$\text{Tb} = 5(m \text{ Ca} + m \text{ Ba} + m \text{ Sr} - m \text{ Cl} - m \text{ Br} - m \text{ I}).$$

Quoiqu'il en soit, la saumure naturelle de Pomeroy ne contient ni carbonates, ni sulfates. Son évaporation amènera, à concentration suffisante, la précipitation de tachydrite et de chlorocalcite ( $\text{CaCl}_2$ ).

Dans ma classification des eaux, cette saumure naturelle est une *perconnée*. Elle est donc captée dans une zone VIII. Elle est en outre *première*, parce que CLARKE écrit : textuellement «  $\text{SO}_4$  : none ».

Il existe comme nous le verrons tantôt des *perconnées deuxième*s dans lesquelles subsiste un peu de sulfates.

\*  
\*\*

Le tableau II met en présence les analyses, spécifiques ou en pourcentage équivalentaire, suivantes :

- N° 1 : Eau d'un charbonnage de Fontaine-l'Évêque (Belgique). Analyse de M. C. CAMERMAN [6]. Salinité : 107.474 mg/l.
- N° 2 : Eau d'un gisement pétrolifère de l'Oklahoma, reprise de la page 195 du travail du Professeur SCHOELLER. Minéralisation : 183.452 mg/l (3.240 pieds).
- N° 3 : Saumure naturelle de Pomeroy du tableau I. Minéralisation : 105.105 mg/l.

- N° 4 : Eau de la mine de Lautenthal, Hartz, reprise de [7].  
Salinité : 84.323 mg/l.
- N° 5 : Eau du Cénomaniien au forage de Höllviken à 1.235 m,  
Scanie (Suède). Analystes F. BROTZEN et G. ASSARSSON (1951). Reprise de [1].

TABLEAU II.

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
M CO <sub>3</sub>	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
M SO <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	tr.
M NO <sub>3</sub>	—	—	—	—	tr.
M Cl	49,89	49,99	49,95	50,00	49,89
M Br	0,06	—	0,05	—	0,11
M I	tr.	—	—	—	tr.
	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
M Ca	10,61	8,41	7,07	6,24	16,36
M Ba	0,14	—	0,05	0,11	tr.
M Sr	0,02	—	0,05	0,39	tr.
M Mg	4,45	2,57	3,27	3,14	1,72
M Na	34,71	39,02	39,51	39,91	31,46
M K	0,00	—	0,05	0,21	0,42
M NH <sub>4</sub>	—	—	—	—	0,04
M Fe <sup>''</sup>	0,07	—	—	—	tr.
	50,00	50,00	50,00	50,00	—
TN	— 76,20	— 54,85	— 52,20	— 49,45	— 90,40
TB	+ 53,60	+ 42,00	+ 35,85	+ 33,70	+ 81,80
S	107.474 Houiller	183.452 ?	105.105 Silurien	84.323 Culm	122.660 Cénomaniien

\*  
\*\*

Les analyses n<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 4 sont celles de *perconnées premières*, soit à TB positif et SO<sub>4</sub> nul. L'absence de sulfates est facile à comprendre. La présence de baryum l'explique quand cet élément est dosé. L'analyse n° 5 est celle d'une *perconnée limite*. Les sulfates et le baryum n'existent qu'à l'état de traces.



Complétons ces résultats par le tableau IV. Nous trouvons :

TABLEAU IV.

	T N	T B	S mg	Provenances
L 8	— 90,25°	+ 73,35°	125.870	Dévonien
L 10	— 82,20°	+ 67,50°	224.868	Ordovicien
L 6	— 80,75°	+ 65,60°	225.749	Crétacé inférieur
L 5	— 63,05°	+ 46,50°	154.388	Crétacé
L 9	— 58,60°	+ 44,75°	298.497	Ordovicien
L 7	— 48,25°	+ 36,45°	194.736	Pennsylvanien
L 3	— 24,00°	+ 15,40°	77.468	Éocène
L 4	— 17,25°	+ 11,30°	67.662	Crétacé supérieur

Huit de neuf analyses d'eaux de gisement sont :

- 1° Anatroniques (TN négatif);
- 2° Chlorurées calciques (TB positif);
- 3° Très faiblement sulfatées ( $M SO_4$  compris entre 0,03 et 0,56);
- 4° Faiblement carbonatées ( $M Cl$  est compris entre 49,61 et 49,35).

Ce sont toutes des *perconnées deuxièmes* depuis l'Éocène jusqu'à l'Ordovicien. Elles sont toutes plus salines que l'eau des océans contemporains.

\*  
\*\*

Je pourrais m'étendre sur l'existence dans les gisements pétrolifères, d'eaux paraconnées, sursalées natroniques, douces sodiques, d'échange de bases, dures proprement dites et acides.

Mais je préfère abréger ce texte.

La composition chimique des eaux des lacs endoréiques contemporains a été étudiée équivalentairement en 1946 [4].

La classification de ces eaux est fort simple. On trouve :

A. — LACS A EAUX NATRONIQUES. Tn POSITIF.

I. — Lacs natrons  $Th < Ta$ .

II. — Lacs à mirabilite  $Th > Ta$ .

B. — LACS A EAUX ANATRONIQUES. Tn NÉGATIF.

III. — Lacs à bischofite  $Tb < 0$ .

IV. — Lacs à tachydrate  $Tb > 0$ .

Parmi les lacs endoréiques, on peut en citer dont les eaux ont une salinité considérable. Ce sont entre autres :

I. — *Lacs natrons* :

Jellow Pool, Arménie . . . . .	347.000 mg.
Owens Lake, Californie . . . . .	213.150 mg.

II. — *Lacs à mirabilite* :

Lac Altaï . . . . .	108.735 mg.
Lac Tamentica . . . . .	185.500 mg.

III. — *Lacs à bischofite* :

Lac Elton . . . . .	291.300 mg.
Grand Lac salé . . . . .	203.490 mg.

IV. — *Lacs à tachydrite* :

Lac Rouge . . . . .	300.100 mg.
Mer Morte . . . . .	188.453 mg.

Les eaux dont l'analyse a été donnée dans ce travail répondent toutes à la condition  $T_b > 0$ . Leur concentration aurait donc pu se faire en lacs à tachydrite. Elles seraient dès lors perconnées premières ou deuxième.

\*  
\*\*

Certains lacs salés contemporains s'assèchent totalement. Ils déposent leurs sels dans des playas ou des sebkas. Si l'on peut, à la rigueur, discuter à perte de vue sur l'existence d'eaux connées ou limno-connées lacustres, il devient beaucoup plus difficile de nier l'existence du *sel conné* et des *dômes de sel*.

Mais il est plus dangereux encore d'affirmer que tous les gîtes salifères se sont formés en eau marine, ce qui conduirait à admettre que tous les lacs salés contemporains sont reliquats.

D'autre part, s'il est prouvé que la composition chimique spécifique des eaux des océans est presque constante dans l'espace contemporain, il s'en faut pour qu'elle l'ait toujours été en fonction des temps géologiques.

Des hommes de sciences affirmeront très sérieusement que les océans précambriens étaient dépourvus de calcium. D'autres seront convaincus qu'à la même époque, les eaux océaniques

avaient la même composition qu'actuellement. D'autres encore prétendront que l'eau marine était douce à l'origine et que tous les chlorures qu'elle contient actuellement sont venus des continents.

\*  
\*\*

J'ai, en 1946, écrit une courte note ayant pour titre : « Deux dates mémorables dans l'histoire des océans ». Si l'on donne à l'ensemble des effluents continentaux une composition déterminée par de très nombreuses observations, on constate que l'effluent continental moyen est une eau caractérisée par TA supérieur à TH. Par contre, l'océan contemporain est caractérisé par TA inférieur à TH et aussi par TN négatif et TB négatif. L'effluent continental formerait un lac natron par sa concentration en bassin clos, tandis que les océans contemporains forment des lacs à bischofite. En étudiant la composition des eaux des océans révolus, j'ai pu établir :

TABLEAU V.

	Comput 0	Comput (— 150)	Comput (— 363)
M CO <sub>3</sub>	0,20	0,20	0,20
M SO <sub>4</sub>	4,60	2,88	0,00
M Cl + M Br	45,20	46,92	49,80
M Ca	1,80	3,09	5,27
M Mg	8,80	7,26	4,67
M Na + M K	39,40	39,65	40,06
	100,00	100,00	100,00
T SO <sub>4</sub>	23,00°	14,40°	0,00°
T N	— 29,00°	— 36,35°	— 48,70°
T B	— 14,00°	+ 0,05°	+ 25,35°

Le comput 0 représente l'eau marine contemporaine. Le comput (— 150) est sensé être la composition d'une eau marine révolue à l'époque où elle avait reçu des effluents continentaux 150 milliéquivalents électro-négatifs et 150 autres positifs par litre d'eau océanique en moins qu'actuellement.



\*  
\*\*

Au comput (— 150), on constate que TB va perdre ses valeurs positives. Au comput (— 363), l'eau est dépourvue de sulfates.

En fonction des temps, les eaux océaniques ont donc été :

1° Avant (— 363), eaux correspondant aux *perconnées premières* : TB positif,  $M SO_4 = 0,00$ .

2° Entre (— 363) et (— 150), eaux correspondant aux *perconnées deuxièmes* : TB positif,  $M SO_4$  différent de zéro.

3° A (— 150), le Tb s'annule, nous sommes sur une *limite des TB nuls*.

4° Après (— 150), le TB est négatif comme le TN.

Les eaux océaniques sont semblables à des *paraconnées*.

Elles donneraient en bassin clos un *lac à bischofite*, alors qu'avant (— 150) elles auraient donné des *lacs à tachydrile*.

La notion d'océans premiers, deuxièmes ou troisièmes rejoint donc celle des eaux paraconnées ou perconnées deuxièmes ou premières.

\*  
\*\*

Rien ne serait d'autre part plus aisé que de classer, suivant les mêmes principes géochimiques, le sel conné et en particulier celui des dômes de sel. Ils contiennent des sels natroniques et anatroniques. Les sels perconnés deuxièmes et perconnés premiers ne font pas défaut. Mais les TB sont faibles parce que les eaux-mères retiennent une bonne partie du chlorure calcique, facilement dissous en raison de sa grande solubilité.

\*  
\*\*

Je me suis forcé dans ce court travail, d'engager les spécialistes du pétrole vers une classification générale des eaux et des sels qui pourrait peut être un jour rendre des services. On me reprochera probablement d'avoir choisi, dans ce but, des analyses d'eaux faiblement sulfatées. Mais il est facile de s'assurer que la dominante des eaux très minéralisées, rencontrées dans les roches-magasins, n'est jamais  $SO_4$ .

Si ces eaux sont en général faiblement sulfatées ou totalement dépourvues de sulfates, ce n'est nullement parce que

lesdits sulfates ont été réduits en sulfures, mais bien parce que les eaux marines premières ou deuxième étaient pauvres en ions  $\text{SO}_4^-$  ou même en étaient totalement dépourvues.

Quant au rôle des bactéries dans la formation des pétroles, il doit être étudié dans les roches-mères et non dans les roches-magasins.

Wasmes, le 14 septembre 1957.

### INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

1. SCHOELLER, H., 1956, Géochimie des eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de pétrole. (Extrait de la *Revue de l'Institut Français du Pétrole et Annales des Combustibles liquides*, 2, rue de Lubeck, Paris XVI<sup>e</sup>. Imprimerie Protat Frères, Macon.)
  2. LEVORSEN, 1956, *Geology of Petroleum*. W. H. Freeman & Co, San Francisco.
  3. DELECOURT, J., 1939, Composition chimique des eaux artésiennes belges. Essai de carte hydrologique du Royaume. (*Exposition Internationale de la Technique de l'Eau*, Liège.)
  4. — 1946, Géochimie des océans des bassins clos et des gîtes salifères. Mers et lacs contemporains. (*Mém. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, Bruxelles, n° I, in-8°.)
  5. CLARCKE, F. W., 1920, *The data of geochemistry*. (Fourth edition.) (*U. S. A. Geological Survey*, Bull. 695.)
  6. CAMERMAN, C., 1951, Composition d'une eau forte à forte salure du bassin houiller de Charleroi. (*Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*)
  7. DELECOURT, J., 1946, Deux dates mémorables dans l'histoire des océans. (*Ibid.*)
- 
-