

COMITE NATIONAL FRANCAIS DE GEODESIE ET DE GEOPHYSIQUE

- SECTION D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE -

Séance du 9 Juillet 1942

- ORDRE DU JOUR -

- 1°) Approbation du Procès-verbal de la précédente séance.
- 2°) Comptes-rendus de travaux :
  - a) Influence du climat sur la composition chimique des eaux souterraines - par M. H. SCHOELLER, Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
  - b) L'Hydrogéologie de la Saoura et du Grand Erg occidental (Sahara) - par M. H. SCHOELLER.
  - c) La Technique des prévisions à longue échéance - par M. FROLOW, Ingénieur-Docteur.
- 3°) Compte-rendu sommaire sur l'activité de la Commission Scientifique de la Seine et de son Bassin - par M. FROLOW, Secrétaire de la Commission.
- 4°) Questions diverses.

- PROCES-VERBAL -

-:--:--:--:--:--

La séance est ouverte à 16 h 30 au Ministère des Travaux Publics, sous la présidence de M. DIENERT.

Etaient présents : M. DIENERT, Président, M.M. BEAU, Léon BERTRAND, FROLOW, GUILLERD, de MARTONNE, Médecin-Général PASTEUR, PERRIER, SCHOELLER, VIBERT, VIGNEROT.

Absents excusés : M.M. AUBERT, BACHET, BLANC, BOURCART, GENISSIEU, GESLIN, LABROUSTE, Jean LAURENT, LUTAUD, de PAMPOLONNE, PRENANT, SENTENAC, WEHRLE.

Le Procès-verbal de la séance du 3 Novembre 1941 est adopté sans observation.

. . .

M. le Président donne la parole à M. SCHOELLER, Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Bordeaux, qui présente à la Section un compte-rendu de ses travaux :

"Influence du Climat sur la composition chimique des eaux souterraines".

Nul n'ignore que les eaux des sources, des puits de l'Afrique du Nord et du Sahara ont une composition chimique toute différente de celles de nos pays. Chacun sait que les eaux des montagnes sont plus pures que celles de la plaine. La composition chimique des eaux est donc influencée par le climat. Bien que ce fait paraisse acquis depuis un certain temps, à la connaissance de M. SCHOELLER il n'a, pour encore, donné lieu à aucune étude particulière.

### LES FACTEURS CLIMATERIQUES -

La pluviométrie joue un rôle prédominant. Elle provoque un lessivage des terrains et entraîne les sels les plus solubles dans les circuits souterrains et superficiels (NaCl et  $SO_4Ca$  sont parmi les plus importants. Le  $CO_3Ca$  suit un régime différent : très faiblement soluble, il nécessite l'intervention d'un autre facteur tout à fait indépendant de la pluviométrie pour être mis en solution : la teneur en  $CO_2$  libre de l'eau). Il restera donc d'autant moins de sels solubles dans les terrains que la pluviométrie sera plus forte. Enfin, la pluviométrie provoquera la dilution d'autant plus grande des sels restants, passant en solution, que cette pluviométrie sera plus grande. Comme, en allant des régions tempérées aux régions tropicales, la pluviométrie diminue pour de nouveau augmenter vers les régions équatoriales, on doit s'attendre à une augmentation de la teneur en chlorures, sulfates et résidu sec en allant de France au Sahara, avec de nouveau une diminution vers l'Equateur. C'est ce que M. SCHOELLER a observé.

L'évaporation a une action sur la composition chimique des eaux. Par évaporation, la concentration en sels de l'eau contenue dans la couche superficielle du sol augmente. Cette eau, plus ou moins renouvelée des profondeurs à la surface par capillarité, amène une véritable ascension des sels fort bien constatée dans les régions tropicales et subtropicales. Lorsque l'évaporation devient très intense, les sels peuvent passer à l'état de sursaturation et, par précipitation, former les croûtes calcaires, les carapaces gypseuses et même les croûtes salines. Seules, les fortes pluies entraîneront vers les nappes, en les diluant plus ou moins, les eaux concentrées qui réapparaîtront aux sources, mais rarement elles s'achèment directement des sources vers la mer, par manque d'écoulement superficiel. L'effet de l'évaporation s'ajoute donc à celui de la faiblesse de la pluviométrie et l'on conçoit que, dans les régions tropicales, les eaux seront très minéralisées tandis que, dans les régions tempérées, elles seront peu chargées.

La température, qui est déjà le facteur primordial de l'évaporation, joue un rôle très important dans les phénomènes chimiques et biologiques dont le résultat final est la production de gaz carbonique, facteur essentiel de la décomposition indirecte de beaucoup de minéraux et de la mise en solution des carbonates alcalins-terreux.

#### METHODE EMPLOYEE -

C'est la méthode statistique. Afin d'éliminer l'influence de la nature du terrain, M. SCHOELLER a groupé les 2.000 analyses complètes dont il disposait en plusieurs lots correspondant chacun à une nature pétrographique des terrains aquifères : calcaires, grès et sables, quaternaire, marnes et argiles, roches cristallines et cristalloyphyllicennes. Chacun de ces lots a été ensuite subdivisé en lots de 2ème catégorie correspondant chacun à une division climatérique : France, Nord de la Tunisie, Centre de la Tunisie, Steppes de Tunisie, Sahara, régions équatoriales. Pour chacun de ces lots de 2ème catégorie, M. SCHOELLER a fait la statistique suivante : Pour chaque radical Ca, Mg, Na, Cl, SO<sup>4</sup>, CO<sup>3</sup> combiné et le résidu sec, il a compté le nombre d'eaux ayant des millivalences comprises entre 0 et 1, 1 et 2, 2 et 3, etc.. Afin de permettre la comparaison, les chiffres obtenus ont été ensuite réduits de manière que le total des échantillons de chaque statistique soit de 100.

M. SCHOELLER a ensuite tracé des graphiques en portant en abscisses les millivalences et en ordonnées les pour cents cumulés, ce qui permet de rassembler plusieurs courbes sur un même graphique. Les tracés relatifs aux pourcentages cumulés moyens sont approximativement rectilignes, en particulier entre les pourcentages 20 et 70; de plus, ils se rapprochent de la verticale; entre 20 et 70 %, 50 % d'eaux ont donc une teneur en l'élément considéré ne variant qu'entre des limites étroites et, entre ces limites, la répartition est à peu près égale. M. SCHOELLER considère donc les 50 % d'échantillons compris entre les 20 % et 70 % cumulés comme "caractéristiques".

#### COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DES DIFFERENTS TERRAINS EN FONCTION DE LA LATITUDE -

1°- EAUX DES CALCAIRES - Les calcaires n'ont pas de pores à travers lesquels l'eau puisse circuler, comme dans les sables et certains grès. La circulation ne peut se faire qu'à l'intérieur des fissures, la surface d'attaque se trouve ainsi considérablement réduite; les sels les plus solubles (chlorures et sulfates) sont emprisonnés dans la matière calcaire, le manque de pores ne permet pas à l'eau d'aller les chercher en profondeur, ces sels ne peuvent être mis en liberté que par la dissolution préalable des carbonates qui les

emprisonnent. Les eaux des calcaires seront donc pauvres en chlorures et en sulfates, riches en carbonates; le résidu sec sera cependant relativement faible eu égard aux faibles surfaces d'attaque.

Variations des différents éléments - La teneur en  $\text{CO}_3$  combiné qui, en France, pour les 50 % caractéristiques, ne varie qu'entre 3,3 et 5 millivaleances, augmente très nettement de France jusque dans le centre de la Tunisie (5,2 - 6,4) pour, de là, diminuer jusqu'au Sahara.

Les valeurs du  $\text{SO}_4$  augmentent graduellement de France au Sahara. La teneur en Cl des 50 % caractéristiques montre de même une augmentation du nord au sud, mais cette augmentation cesse du Centre de la Tunisie au Sahara.

Les valeurs du Ca sont essentiellement liées à celles du  $\text{CO}_3$  combiné et du  $\text{SO}_4$ ; elles augmentent graduellement de France jusqu'au centre de la Tunisie, puis diminuent jusqu'au Sahara.

Le Mg est généralement lié au  $\text{SO}_4$  et ses variations sont parallèles à celles de ce dernier élément; de même, celles du sodium sont analogues à celle du Cl.

Le résidu sec montre un accroissement graduel du Nord au Sud.

2°- Eaux DES SABLES ET DES GRÈS NORMAUX - Les sables et beaucoup de grès étant des roches perméables à nombreux pores, la surface d'attaque du terrain aquifère est, de ce fait, grandement accrue, ce qui permet une dissolution plus rapide, par conséquent un résidu sec plus élevé de l'eau, et ce résidu est d'autant plus élevé que l'eau, par suite de sa circulation beaucoup plus lente se trouve plus longtemps en contact avec les terrains. Le résidu sec ne peut être supérieur à celui des calcaires que si le lessivage, facilité par la grande porosité, n'a pas été trop grand. La teneur en  $\text{CO}_3$  combiné est, à peu de chose près, la même que celle des eaux issues des calcaires, les valeurs du  $\text{CO}_3$  étant réglées par la pression partielle du  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère des sols.

Les teneurs en  $\text{SO}_4$  et Cl peuvent être supérieures aux teneurs maxima des eaux des calcaires. La même observation peut être faite au sujet des ions Mg et Na.

Variations des différents éléments - Elles sont analogues à celles indiquées pour les eaux des calcaires, mais l'augmentation est plus rapide en ce qui concerne les ions  $\text{SO}_4$ , Cl, Mg, Na et le résidu sec. Pour le Ca, l'augmentation est graduelle de France au Sahara; ce phénomène est dû à ce que le Ca est lié au  $\text{SO}_4$  plus abondant.

3° EAUX DES GRÈS ET SABLES PUREMENT SILICEUX - Les grès et sables purement siliceux se comportent d'une manière différente de celle des sables ordinaires, surtout dans les régions à forte pluviométrie

ayant permis un lessivage complet, L'absence de carbonates, en particulier, donne des eaux ayant un résidu sec très faible. Les ions Ca ne se trouvant qu'en petite quantité, l'acide carbonique d'équilibre n'est pas saturé; il reste du  $\text{CO}_2$  agressif. De telles eaux acides se rencontrent particulièrement dans la formation dite des sables des Landes, dans une région à forte pluviométrie (1000 à 1500 mm.) et également en Afrique du Nord dans les grès oligocènes d'Ain Drahem où la pluviométrie est de 1600 mm. Ces deux régions ont des podzols, ce qui indique l'existence certaine d'une liaison entre la composition chimique des eaux souterraines et la nature pédologique du sol. L'insuffisance du nombre d'analyses en sa possession n'a pas permis à M. SCHOELLER de rendre compte de l'influence climatérique.

4° EAUX DES GRANITES, GNEISS ET ROCHES ERUPTIVES - Ce qui a été dit pour les sables et grès acides peut en grande partie se répéter pour les granites, gneiss et pour la plupart des roches éruptives. Les eaux sont agressives et le résidu sec est faible.

5° EAUX DES ALLUVIONS QUATERNAIRES, DES MARNES ET DES TERRAINS GYPSEUX ET SALIFERES - Les facteurs climatériques semblent, ici, jouer un rôle plus effacé que pour les autres roches, l'influence pétrographique étant prépondérante. Dans les marnes, le résidu sec est en général assez élevé par suite de la présence de sels retenus par absorption.

#### INFLUENCE GENERALE DU CLIMAT

L'étude des eaux des différents terrains a permis de constater, dans chaque cas, une évolution parallèle des éléments. M. SCHOELLER a donc pu grouper tous les résultats analytiques sur un même graphique et déduire, de l'examen de celui-ci, l'influence générale du climat sur la composition chimique des eaux souterraines.

$\text{CO}_2$  combiné - Alors que, pour tous les terrains, les éléments Ca, Mg, Na, Cl,  $\text{SO}_4$  et le résidu sec varient très largement, non seulement d'une roche à l'autre mais aussi en fonction du climat, le  $\text{CO}_2$  combiné reste fixé entre des limites très étroites. Si l'on fait exception des marnes, il ne dépasse pas, dans le cas des eaux ordinaires, 11 millivalences - 90 % n'ont pas plus de 8 millivalences. Enfin, en ne tenant pas compte des eaux acides, 70 % des eaux ont un  $\text{CO}_2$  combiné oscillant entre 2 et 8 millivalences. De plus, pour tous les terrains, le  $\text{CO}_2$  combiné augmente graduellement mais très légèrement, de la France jusqu'au centre de la Tunisie, où il atteint son maximum, pour diminuer de là vers le Sahara et, plus loin, vers les régions équatoriales. Il est très vraisemblable que l'augmentation en direction des Tropiques se fait dès les régions polaires car M. SCHOELLER a constaté, par de nombreuses mesures de

CO<sup>3</sup> combiné, aussi bien dans les Alpes que dans les Pyrénées, une augmentation graduelle au moins depuis 2.800 mètres d'altitude jusqu'aux plaines.

Dans les sols agricoles, la tension partielle du CO<sup>2</sup> varie généralement de 0,005 à 0,06 ce qui donne des teneurs en CO<sup>3</sup> combiné de 75 à 200 mg. à la température de 15°, entre lesquelles oscillent le plus généralement les teneurs en CO<sup>3</sup> combiné des eaux souterraines. Le gaz carbonique des sols provient, en particulier, de la respiration des microorganismes, des racines des végétaux et de la décomposition des matières organiques du sol. Plus la végétation est abondante, plus la vie des microorganismes dans le sol est intense, plus la production de CO<sup>2</sup> est grande, sa tension élevée, et par là, plus le CO<sup>3</sup> combiné est grand. La teneur en CO<sup>3</sup> combiné des eaux sera donc bien modifiée dans tel ou tel sens par les actions climatiques. De France au centre de la Tunisie, la pluviométrie diminue, et avec elle, la végétation qui devient de moins en moins serrée malgré la température croissante. Mais, l'activité des microorganismes et la combustion des matières organiques augmentent avec la température et produisent des quantités de plus en plus élevées de gaz carbonique, d'où un accroissement graduel du CO<sup>3</sup> combiné du Nord au Sud. La température devient ainsi le facteur de contrôle.

Du centre de la Tunisie au Sahara, la pluviométrie diminue toujours de plus en plus. Elle devient de plus en plus insuffisante. La végétation se raréfie progressivement et n'apporte plus le matériel organique à décomposer, sur lequel pourrait se porter l'activité des microorganismes, d'où une diminution du CO<sup>2</sup> libre et, parallèlement, du CO<sup>3</sup> combiné.

Dans les régions équatoriales, la vie des microorganismes doit être poussée au plus haut point et il devrait y avoir maximum de production de CO<sup>2</sup>. Pourtant, les quelques analyses des eaux de ces régions n'indiquent qu'une teneur très faible en CO<sup>3</sup> combiné; ce phénomène est peut-être dû au lessivage intense provoqué par la haute pluviométrie, qui aurait éliminé les sels les plus solubles, y compris les carbonates.

SO<sup>4</sup> et Cl - Alors que SO<sup>4</sup> et Cl sont extrêmement faibles en France, ils croissent rapidement vers le Sahara. Le SO<sup>4</sup> croît plus lentement que le Cl du Nord au centre de la Tunisie et ensuite plus rapidement. De telle sorte que le rapport SO<sup>4</sup>/Cl qui, en France, était voisin de 1, mais nettement inférieur à 1 dans le Nord et le centre de la Tunisie, se rapproche graduellement de l'unité, pour souvent la dépasser, dans la région des Steppes et du Sahara. La croissance plus rapide du Cl que celle du SO<sup>4</sup> est en accord avec les facteurs climatiques; l'augmentation plus rapide de la teneur en SO<sup>4</sup> des eaux des Steppes et du Sahara est en liaison avec des modifications lithologiques, maints terrains prenant des faciès maritimes avec intercalations dolomitiques et gypseuses.

Dans les régions équatoriales, le taux du SO<sub>4</sub> et de Cl est extrêmement faible, inférieur même à celui de la France, la forte pluviométrie ayant provoqué un lessivage intense de tous les terrains.

Ca - Mg - Na - Les modifications des anions, SO<sub>4</sub> et Cl particulièrement, entraînent celles des cations. Le sodium et le magnésium sont, en général, respectivement liés au Cl et au SO<sub>4</sub> et subissent par conséquent des variations parallèles à celles de ces anions.

Dans l'établissement des graphiques, M. SCHOELLER n'a tenu compte que de l'eau des sources, afin d'éliminer l'influence soit de l'évasion du CO<sub>2</sub>, soit de la production de celui-ci par les matières organiques qui y séjournent.

M. le Président remercie M. SCHOELLER, dont la Communication qui paraîtra dans le bulletin de la Société Géologique de France, a vivement retenu l'attention des membres de la Section.

M. DIENERT rappelle la porosité de la craie et de certains calcaires, tels que le calcaire grossier de la région parisienne, pour lesquels la dissolution des sels est différente de celle qui s'opère dans les calcaires marneux.

M. le Médecin-Général PASTEUR signale la forte teneur en sels alcalino-terreux des eaux de la région de Colomb-Béchar et les troubles apportés, dans l'organisme, par la consommation de ces eaux. Une ébullition préalable permettait de précipiter une partie importante de ces sels et évitait les nuisances constatées.

M. SCHOELLER indique, dans cet ordre d'idées, que les Arabes emploient de préférence l'eau des puits pollués, celle-ci cuisant mieux les légumes par suite de la réduction des sulfates opérée par les matières organiques.

Un échange de vues a lieu entre M.M. DIENERT, Léon BERTRAND et SCHOELLER au sujet du phénomène de la remontée des sels et de la formation des croûtes et carapaces, phénomène fort intéressant mais complexe.

M. le Président donne la parole à M. SCHOELLER qui présente un compte-rendu sur l'Hydrogéologie de la Vallée de la Saoura et du Grand Erg occidental (Sahara).

La vallée de la Saoura, à la lisière du Grand Erg occidental, présente plusieurs sources à IGLI, Mazzer, Quarourourt, Béni-Abbès, etc... Toutes ces sources apparaissent sur la rive gauche. Ce fait avait déjà frappé E.F. GAUTIER. L'alimentation ne pouvait

provenir, d'après lui, que du Grand Erg occidental et des pertes des crues des oueds descendant de l'Atlas à la bordure nord de l'erg.

L'architecture du pays est la suivante : Sur un substratum primaire plissé repose horizontalement, en discordance des formations argilo-gréseuses miocènes continentales, 10 mètres de calcaire pliocène, le tout s'enfonçant sous les dunes actuelles du Grand Erg occidental. Mais, entre les sables de ces dunes et le calcaire pliocène, on rencontre de haut en bas, des sables et des tufs quaternaires à lymnées, planorbis et physidés et une formation que les indigènes appellent taschenrit, qui doit être une argile rouge.

Les sources de la vallée de la Saoura sortent toutes du calcaire pliocène et non du miocène, comme on l'avait tout d'abord pensé. Ce qu'il y a de remarquable, c'est la faiblesse extraordinaire du résidu sec qui n'oscille qu'autour de 300 mg/litre. L'eau des puits du Grand Erg occidental a aussi son gisement dans le calcaire pliocène à l'est de Béni-Abbès. Sa composition est tout à fait analogue à celle des sources de Béni-Abbès. Les lignes isopiézométriques de la partie occidentale de la nappe du Grand Erg montrent nettement les filets liquides se dirigeant vers les sources de la Saoura. Aucun doute n'est donc possible. L'eau des sources de la Saoura vient du Grand Erg. Mais cette eau ne peut venir aussi des crues des oueds descendant de l'Atlas, après s'être infiltrée dans les sables. La faiblesse du résidu sec s'y oppose et les courbes ne montrent aucune venue depuis ces pertes des oueds. Le faible résidu sec provient de la nature presque exclusivement siliceuse des sables. L'alimentation de la nappe du Grand Erg peut d'ailleurs se faire par l'infiltration directe des pluies. L'Adjudant BORGEAUD et M. SCHOELLER n'ont constaté.

M. SCHOELLER, qui effectue des recherches d'eau pour le compte du Chemin de Fer Méditerranée-Niger, termine son exposé en signalant tout l'intérêt que présenterait l'installation des appareils de M. DIEMERT dans la région de Béni-Abbès.

M. le Président remercie M. SCHOELLER de son intéressant exposé. D'importantes précisions sont données, sur les dunes de cette région et sur la formation quaternaire sous-jacente, au cours d'un échange de vues auquel prennent part M.M. BEAU, Léon BERTRAND, de MARTONNE, PERRIER et SCHOELLER.

Répondant à une demande de M. FROLOW, M. SCHOELLER indique que la température des eaux de Béni-Abbès est de 24°6 - 24°7; celle de la grande source de Béni-Abbès est de 25°3. Au Sahara, la température des sources est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air, le sol s'échauffant plus que l'air.

A la demande de M. BEAU, M. SCHOELLER précise que les eaux captées à Sidon V, à la profondeur de 150 mètres, ont une teneur en sel de 14 gr par litre et que, d'autre part, l'Albien se trouve à une assez grande profondeur, sous les formations lagunaires du Céno-manien.



M. le Président donne la parole à M. FROLOW, secrétaire de la Commission Scientifique de la Seine, qui expose brièvement l'activité des diverses sections de la C.S.S.; bien que celle-ci soit entravée par le manque de crédits, les résultats obtenus jusqu'ici par la plupart des sections sont très encourageants.

M. le Président signale que la C.S.S. a éprouvé des difficultés du fait de l'absence en son sein d'un géographe. A l'unanimité, la Section décide de demander à M. de MARTONNE de bien vouloir faire partie de la C.S.S. Bien que ses nombreuses occupations ne lui laissent que peu de temps, M. de MARTONNE accepte et M. le Président l'en remercie.

o  
o

M. le Président donne ensuite la parole à M. FROLOW qui entretient la Section de la "Technique des prévisions à longue échéance". M. FROLOW indique que l'on peut actuellement considérer comme acquis les trois points suivants :

1°- Il est possible de prévoir la marche générale des phénomènes pour plusieurs années (exemple: les années à venir seront plus sèches ou plus chaudes).

2°- Il est possible de prévoir les échéances possibles des phénomènes extraordinaires (exemple: il n'y a pas de grandes chances d'inondations à Paris d'ici 10 ans).

3°- Il est possible de prévoir la valeur prochaine d'un phénomène, une crue par exemple; on se sert, à cet effet, des courbes de reconnaissance et non de l'analyse complète. C'est ainsi que, l'année prochaine, la crue du Niger à Koulikoro doit dépasser 7 mètres, ce qui correspond à une des 4 grandes crues enregistrées depuis le début des observations.

M. FROLOW signale, en terminant, que dans l'application de la Technique, il y a un facteur personnel important qui entre en jeu : l'accommodement à la série utilisée. Ce point de vue est entièrement approuvé par M.M. VIBERT et PERRIER.

M. BEAU souligne l'intérêt que présente la communication aux Services intéressés des prévisions établies par M. FROLOW, en particulier en ce qui concerne la crue du Niger.

M. FROLOW souhaite que les Services intéressés se familiarisent avec la technique des prévisions à longue échéance. M. BEAU lui donne l'assurance que la collaboration du Ministère des Colonies, interrompue par la mort de M. HUBERT, ne lui fera pas défaut.

La Section décide à l'unanimité de présenter, à la prochaine réunion plénière du Comité de Géodésie et de Géophysique, la candidature de M.M. BARRILLON et PRENANT.

°  
° °

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à 19 heures.