

LES SALINITÉS DE L'ÉTANG DE SALSSES-LEUCATE ET LE RÉGIME DES EAUX SOUTERRAINES

par Pierre ARNAUD

En 1955 et pendant le premier semestre de 1956, puis du second semestre de 1960 à la fin de 1965, soit pendant 7 années complètes, de nombreuses analyses nous ont permis de connaître les salinités de l'étang de Salses-Leucate. A chaque sortie les prélèvements étaient en général

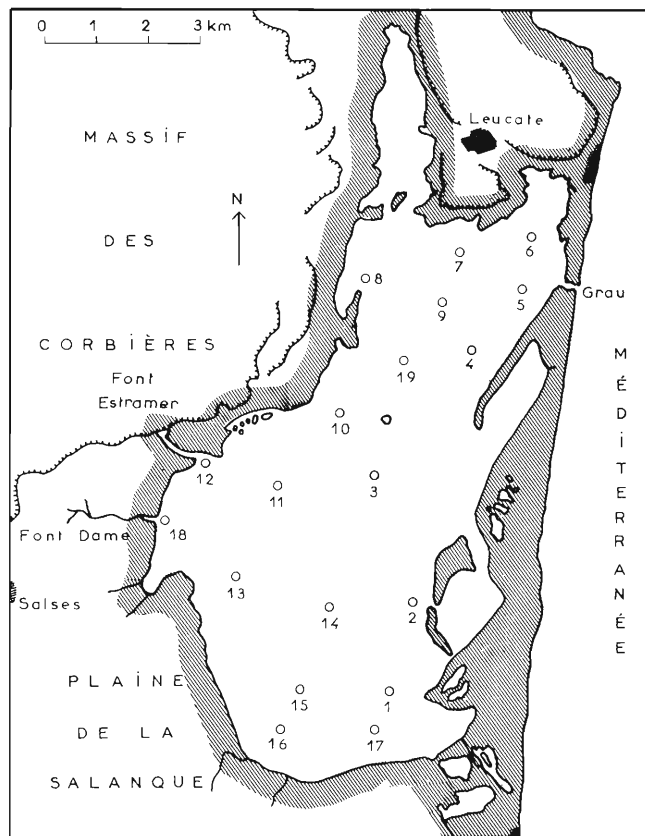


FIG. 1. — L'étang de Salses-Leucate dans son contexte géographique schématisé. Les ronds et les numéros indiquent les points de prélèvements.

effectués en 19 points de l'étang (fig. 1); ces points sont suffisamment dispersés pour que les moyennes sur lesquelles s'appuie la présente étude puissent être considérées comme tout à fait représentatives de l'ensemble de l'étang. Quant à la fréquence des prélèvements, le rythme d'une sortie par mois, théoriquement prévu, n'a pas toujours pu être tenu; sur les sept années, la moyenne s'établit à neuf sorties par an.

Précisons que les salinités sont exprimées en grammes par kilogramme d'eau et qu'elles ont été déterminées par la méthode de Mohr-Knudsen.

Les moyennes des salinités établies sur cette base et pendant une durée aussi longue permettent de suivre deux types de variations : les variations saisonnières au cours de chaque année, et les variations du niveau global des salinités qui distinguent les années entre elles.

Ces variations sont relativement importantes; d'une part les différences maximales observées chaque année sont de l'ordre de 10 g; d'autre part certaines années, par exemple, présentent des salinités qui se tiennent toutes entre 20 et 30 ‰, alors que pour d'autres les salinités demeurent toujours inférieures à 20 ‰.

Pour expliquer de telles variations dans une unité géographique aussi limitée et où les échanges avec la mer sont constants, on cherche naturellement en premier lieu à établir des relations entre la courbe des salinités et celle de précipitations météoriques.

Précipitations et salinités.

En réalité la corrélation entre pluies et salinités est loin d'être étroite. Il n'est pour s'en convaincre que d'examiner un graphique où les courbes des deux paramètres se trouvent juxtaposées (fig. 2). On constate certes que les périodes où les salinités sont relativement élevées correspondent

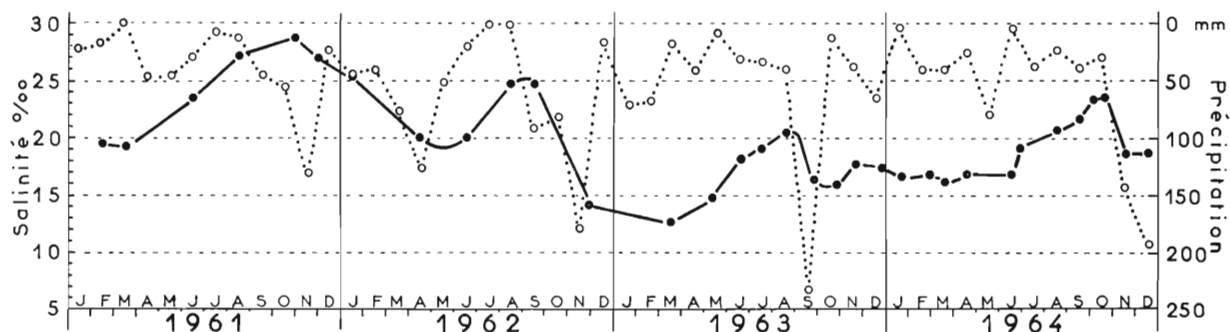


FIG. 2. — Précipitations mensuelles (cercles ouverts et pointillé) et salinités (points noirs et trait continu) de 1961 à 1964.

aux mois où les précipitations sont les plus faibles et inversement, mais il s'agit d'une correspondance globale; une analyse de détail laisse beaucoup d'insatisfaction. Les précipitations sont essentiellement des phénomènes discontinus et relativement brefs; les variations de salinité, elles, sont beaucoup plus étalées dans le temps et sont loin de répondre coup pour coup aux chutes de pluies.

Une relation nette entre les deux facteurs n'apparaît que lors de très fortes précipitations; celles-ci sont régulièrement suivies d'une chute des salinités (par exemple en novembre 1961, 62 et 64, ainsi qu'en septembre 1963) mais, même dans ces cas, l'importance de la chute n'est pas du tout proportionnelle à l'abondance des précipitations.

C'est ce manque de cohérence entre les deux phénomènes qui conduit à chercher d'autres paramètres susceptibles de mieux rendre compte des variations de salinité.

En considérant la situation géographique de l'étang et la nature des apports d'eaux continentales il apparaît qu'une analyse du régime des eaux souterraines serait probablement plus représentative que les données brutes des précipitations. Les recherches faites dans ce sens en ont apporté la confirmation.

Situation géographique de l'étang; les apports d'eaux continentales.

Cette lagune d'environ 5 300 ha appartient partiellement au département de l'Aude (bassin de Leucate) et partiellement à celui des Pyrénées-Orientales (bassin de Salses).

Sauf à l'est, du côté mer, où un simple cordon littoral sableux forme une faible barrière sur

toute la longueur de l'étang, le contraste est frappant entre l'environnement géographique de la partie audoise, située au nord, et celui de la partie catalane au sud.

Dans sa partie nord, la lagune est comme enchassée dans les calcaires compacts du massif des Corbières qui lui donnent des rives relativement abruptes et élevées.

Au contraire, le bassin de Salses, au sud, est en continuité avec la vaste plaine alluvionnaire du Roussillon dont l'horizontalité n'est interrompue, à quelque 30 km de là, que par les premiers contreforts des monts pyrénéens; aussi les rives sud et sud-ouest du bassin sont basses et plates et, de plus, étant formées de sédiments meubles plus ou moins imprégnés d'eau, elles forment une large zone marécageuse dans la partie sud-ouest.

C'est dans cette zone sud et sud-ouest que se font pratiquement tous les apports d'eaux continentales. Aucune rivière proprement dite ne se jette dans la lagune et les déversements se présentent selon deux modalités très différentes.

En premier lieu, aux périodes de précipitations exceptionnellement abondantes, comme on en observe de temps à autre en climat méditerranéen, il arrive que l'Agly, le fleuve côtier le plus proche, déborde; les terrains alluvionnaires étant eux-mêmes saturés, de larges zones de la plaine sont inondées et dans ce cas l'étang reçoit des eaux issues d'écoulements superficiels. De telles venues sont relativement rares et c'est à celles-ci que sont dues les chutes de salinités qui sont en relation directe avec les précipitations.

La deuxième catégorie d'apport, et de beaucoup la plus importante, est constituée par les écoulements d'eaux ayant au préalable cheminé dans le sous-sol; il s'agit aussi bien d'eaux qui, s'infiltrant dans les terrains meubles de la plaine, sont allées enrichir la nappe phréatique, que des eaux qui sont absorbées par les calcaires fissurés des Corbières et alimentent les réseaux karstiques du massif.

La fourniture d'eau à l'étang par ces réseaux karstiques est particulièrement visible au nord de Salses, dans la zone où le relief calcaire s'éloigne de la lagune pour faire place à la plaine; là, plusieurs résurgences s'observent à la base du massif. Les eaux issues de ces résurgences sont suffisamment abondantes tout au long de l'année pour alimenter deux sortes de petites rivières permanentes, courtes mais puissantes, qui traversent la zone marécageuse du sud-ouest et se jettent dans la lagune.

La première, appelée la Rigole (fig. 3), évacue dans l'étang les eaux d'une puissante résurgence connue sous le nom de Font Estramer; c'est une résurgence de type vauclusien; les eaux remontant des profondeurs viennent au jour dans une vasque d'une vingtaine de mètres de diamètre située à la base même de la falaise calcaire. C'est le trop plein permanent de cette vasque que la Rigole livre à l'étang, après un parcours d'environ huit cents mètres.

Le deuxième cours d'eau, situé plus au sud, et appelé « ruisseau de Font Dame » est constitué par la convergence de multiples affluents eux-mêmes alimentés par de nombreuses petites résurgences qui débouchent au milieu des roseaux de la zone marécageuse du sud-ouest (fig. 4). Malgré son nom de ruisseau, ce cours d'eau présente un débit sensiblement plus important que la Rigole.

Quant aux apports dus à l'écoulement des eaux infiltrées dans les terrains perméables de la plaine alluvionnaire, ils ne sont pas apparents; ils doivent cependant exister au moins pendant les périodes humides où le sol renferme des réserves d'eau. En effet, il ressort de l'étude de GOR (1965) sur l'hydrogéologie de la Salanque qu'une des nappes phréatiques de la plaine présente un affleurement dans la partie sud-ouest de l'étang; cette zone représente donc le niveau de base d'une partie des eaux circulant dans cette nappe.

Caractères des circulations souterraines.

Toutes les eaux des précipitations, qu'elles demeurent en surface ou qu'elles pénètrent dans le sous-sol, tendent à s'écouler pour rejoindre leur niveau de base. Mais tandis que l'écoulement des eaux superficielles est relativement rapide et étroitement lié, dans le temps, aux précipitations, celui des eaux souterraines est toujours soumis à des décalages plus ou moins importants par rapport au moment de la chute des pluies.

Le sol et le sous-sol jouent essentiellement un rôle de volant, même s'il s'agit de massifs calcaires parcourus par de véritables cours d'eau souterrains. DUBOIS en 1964, dans une étude sur la circulation dans les calcaires de la région de Montpellier, note que « ...dans une région à précipitations très discontinues, la masse calcaire joue un rôle régulateur incontestable, amassant un grand volume d'eau lors des pluies pour les restituer ensuite progressivement... ».

La pérennité des résurgences, comme celles de la région sud-ouest de l'étang de Salses-Leucate, constitue une manifestation des plus évidentes de ce rôle régulateur.

Comme la quasi-totalité des apports qui se déversent dans l'étang est constituée par des eaux souterraines, les salinités doivent nécessairement être en relation étroite avec les variations de débits de ces eaux, variations elles-mêmes sous la dépendance de lois particulières d'écoulement qui se traduisent finalement par des phénomènes de régulation.



FIG. 3. — La Rigole à proximité de l'étang.



FIG. 4. — Un des petits affluents du ruisseau de Font Dame.

Un contrôle direct et précis des variations de débit des résurgences est concrètement difficile à opérer. Il nous a été possible seulement, en 1964 et 1965, de vérifier que ces variations étaient très importantes au cours d'une année.

Un deuxième procédé indirect consiste à établir le bilan hydrologique de la région en s'inspirant des méthodes mises au point par les agronomes et les climatologues et à vérifier si certaines données obtenues de cette façon rendent compte des variations de salinités de l'étang.

C'est cette méthode qui a été appliquée et, malgré ses imperfections, elle permet de dégager des corrélations incomparablement plus étroites que ne le sont les données brutes des précipitations.

Bilan hydrologique.

Au cours des dernières décennies notamment, les agronomes, pour résoudre des problèmes pratiques, tels que celui de définir les besoins de l'irrigation ou de prévoir les dangers d'incendie de forêts, se sont attachés à mettre au point des formules permettant d'établir le bilan complet des eaux dans une région donnée.

TURC (1954), entre autres, a proposé une équation qui donne le moyen de calculer le pouvoir évaporant de l'atmosphère (évapotranspiration potentielle) compte tenu de la température et du taux de radiation solaire. THORNTHWAITE (1954), de son côté, a mis au point une méthode qui permet de suivre mois par mois le bilan d'une région et notamment de dresser un état de la teneur du sol en eau. Les facteurs essentiels auxquels il est fait appel sont, d'une part la valeur des précipitations et d'autre part celle de l'évapotranspiration. De plus il est bien évident qu'une même hauteur de

pluie s'infiltrant dans un sol relativement sec n'aura pas la même répercussion sur l'écoulement que si elle tombe sur un sol déjà plus ou moins saturé; c'est pourquoi la méthode tient compte également, pour un mois donné, de l'état d'humidité du sol au cours du mois précédent. Ainsi se trouve intégré le facteur de régulation que joue le sol à l'égard des eaux infiltrées.

Bilan hydrique et variations des salinités.

En nous appuyant sur les données météorologiques fournies par les « Annales climatologiques des Pyrénées-Orientales », nous avons pu établir pour chaque mois un tel bilan pour la région où se situe l'étang.

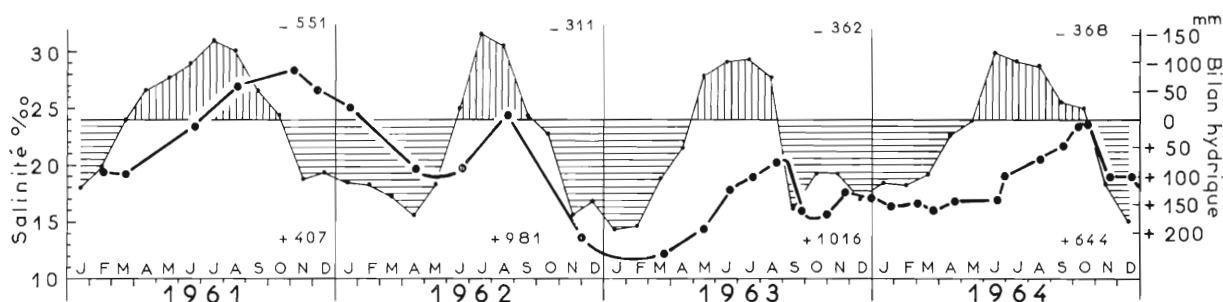


FIG. 5. — *Bilan hydrique* (parties hachurées) et *salinités* (trait gras) de 1961 à 1964. Hachures verticales : *déficits*; hachures horizontales : *réserves et excédents*. Les nombres portés sur le graphique représentent le total annuel en millimètres des déficits (signe —) et des réserves et excédents (signe +).

Dans ces bilans hydriques, le niveau des eaux dans le sol est exprimé, soit par des valeurs positives si le sol renferme des réserves ou excédents d'eau, soit par des valeurs négatives qui chiffrent les états de déficits plus ou moins élevés. Le niveau zéro, qui sépare les valeurs positives des valeurs négatives, représente l'état du sol ne renfermant plus aucune réserve, mais non encore en déficit.

Notons que, dans le cas qui nous occupe, la courbe du bilan n'a qu'une valeur relative et empirique; on ne doit pas prendre à la lettre le terme de « déficit » par exemple; s'il représentait un état de réel déficit des eaux dans le sol cela se traduirait à diverses reprises par un arrêt total des écoulements; en fait on n'a jamais observé un tarissement complet des résurgences.

Dans les représentations graphiques du bilan que nous avons établies (fig. 5 et 6), le niveau zéro est figuré par une ligne horizontale; les portions de courbe qui représentent les déficits d'une part, et les réserves et excédents d'autre part, se situent de part et d'autre de ce niveau zéro. Pour mieux faire ressortir les relations entre le bilan et les salinités, les déficits sont portés au-dessus du niveau zéro, tandis que les réserves et excédents se trouvent au-dessous.

La figure 5 où se trouvent juxtaposées la courbe du bilan hydrique et celle des salinités pour les quatre années 1961 à 1964, fait ressortir un parallélisme qui dénote une relation certaine entre les deux facteurs, relation beaucoup plus étroite en tout cas, que celle existant entre les données brutes des précipitations et les salinités.

Il est particulièrement intéressant d'examiner la courbe du bilan hydrique en isolant les périodes de déficits, des périodes d'excédents. Vu de cette façon, le graphique des quatre années 1961, 62, 63 et 64 présente une suite de 7 fragments qui se succèdent alternativement de part et d'autre du niveau zéro. Or, si l'on porte son attention sur l'allure de la courbe des salinités en regard de chacune des 7 périodes mentionnées, on constate que pendant les mois de déficits les salinités croissent constamment et qu'inversement, tant que le sol renferme de l'eau en excédent, les salinités diminuent régulièrement. Le décalage entre le passage au zéro du bilan hydrique et le changement de sens dans les variations de salinité est au maximum de l'ordre d'un mois. Sur les sept tronçons qui divisent la courbe du bilan hydrique, il n'en existe qu'un seul où cette règle n'apparaît pas aussi clairement; d'octobre 1963 à mai 1964, période où les excédents dans le sol présentent un long palier, les salinités, alors relativement basses, au lieu de présenter une diminution continue, se maintiennent elles-mêmes à peu près constantes.

Deux extraits de courbes se rapportant aux années antérieures à 1961 confirment la relation existant entre phase d'excédents et salinités décroissantes d'une part et phase de déficits et salinités croissantes d'autre part (fig. 6).

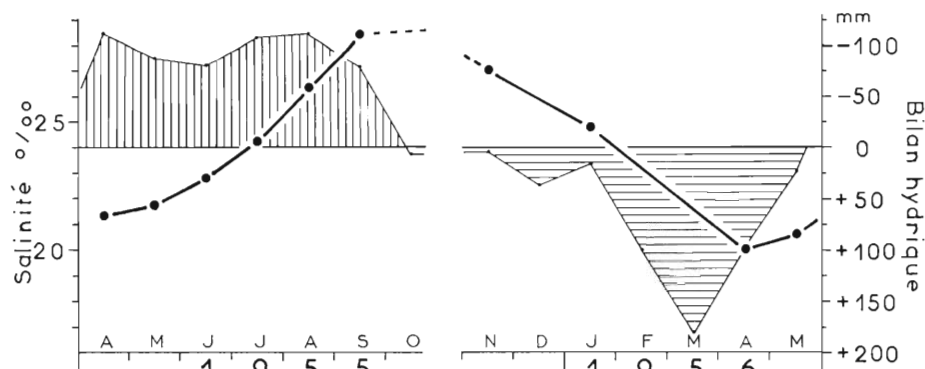


FIG. 6. — *Bilan hydrique* (parties hachurées) et *salinités* (trait gras) en 1955 et 1956 (pro parte). Hachures verticales : déficits; hachures horizontales : réserves et excédents (les deux phases du bilan hydrique ont été séparées pour mettre en évidence la relation de chacune avec le sens de variation des salinités).

Bilan hydrologique et niveaux annuels de la salinité.

Nous venons de voir que les augmentations ou les diminutions de salinité présentent une relation frappante avec, respectivement, les phases de déficit et les phases d'excédents du bilan hydrologique. Il reste à examiner si les données de ce bilan peuvent expliquer les différences importantes observées entre les diverses années dans le niveau des salinités moyennes en valeur absolue.

Années	Excédents + Déficit annuels	Valeurs extrêmes des salinités	Excédents + Déficit bisannuels
1954	— 278		
1955	— 343	20 — 29	— 621
1956	+ 26	20 — (30)	— 317
1959	+ 1216		
1960	— 190	(13) — 23	+ 1026
1961	— 144	19 — 29	— 334
1962	+ 670	14 — 25	+ 526
1963	+ 654	12 — 20	+ 1324
1964	+ 276	16 — 24	+ 934

TABLE. 1. — *Données comparées des bilans hydriques annuels et bisannuels et des salinités.*

Si l'on considère les années au cours desquelles la salinité a été suivie avec assez de régularité pour être bien caractérisée (1955 et 1956 ; 1960 à 1964), on constate qu'en 1955, 1956 et 1961 elle s'est maintenue, grosso modo, entre 20 et 30 ‰, en 1963 entre 10 et 20 ‰, et qu'en 1960, 1962 et 1964 elle a eu des valeurs intermédiaires, approximativement de 15 à 25 ‰.

On pourrait penser que les années à salinité relativement élevée (20 à 30 ‰) sont des années où les déficits l'ont emporté sur les excédents et inversement. Pour le vérifier, il suffit de faire pour chaque année la somme algébrique du total des excédents et des déficits et d'examiner si les valeurs obtenues offrent une certaine correspondance avec le niveau des salinités.

Les données portées dans les deuxième et troisième colonnes du tableau 1 permettent de confronter ce bilan global annuel avec l'amplitude des salinités. On constate que la correspondance est loin d'être satisfaisante pour certaines années. Ainsi, en 1960, les déficits ont dominé et cependant les salinités sont sensiblement plus basses qu'en 1956, année où les excédents l'ont emporté ; de même la valeur des excédents en 1962 et en 1963 est presque égale alors que l'amplitude des salinités n'est pas du tout de même ordre.

Ainsi les différences annuelles du niveau des salinités ne présentent pas de relation précise avec les données globales du bilan hydrique de l'année correspondante.

Le problème fut donc abordé d'une façon différente. Diverses observations indiquent que l'état des eaux souterraines au cours d'une année donnée peut encore avoir une influence au cours de l'année suivante. Cette considération conduit, pour caractériser une année, à faire la somme algébrique des excédents et des déficits, non plus seulement de l'année considérée, mais de celle-ci et de l'année précédente (tabl. 1, 4^e colonne).

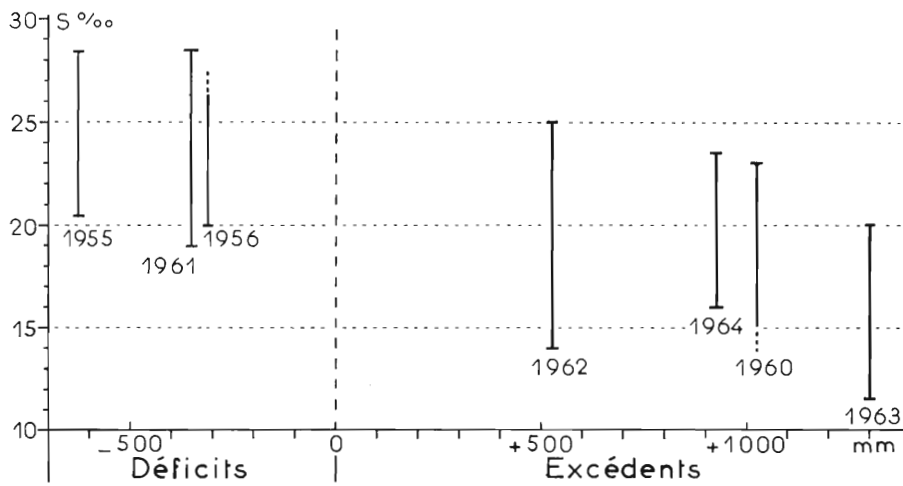


FIG. 7. — Amplitudes annuelles des salinités (traits gras verticaux) classées en fonction des données bisannuelles du bilan hydrique (valeurs en abscisses).

La figure 7 fait ressortir la bonne correspondance existant entre les valeurs ainsi obtenues et les salinités. En effet, à l'inverse des données annuelles, les sommes algébriques cumulées pour deux ans s'harmonisent très correctement avec les différents niveaux annuels des salinités. L'année 1963, où les salinités furent les plus basses, présente les excédents les plus importants ; les années où les déficits l'emportent sur les excédents correspondent avec celles qui offrent les salinités les plus élevées ; les autres occupent une position intermédiaire.

Résumé et conclusion.

Les observations qui viennent d'être exposées mettent en évidence que les salinités de l'étang de Salses-Leucate présentent des relations précises avec les données du bilan hydrologique concernant l'état des eaux dans le sous-sol. Deux types de relation s'en dégagent, à savoir :

1) que les salinités croissent pendant les périodes de déficits et décroissent pendant les phases de réserves et d'excédents ;

2) que le niveau général des salinités au cours d'une année est fonction du bilan global bisannuel obtenu en faisant la somme algébrique des excédents et des déficits, de l'année considérée et de l'année précédente.

Ces relations semblent suffisamment étroites pour qu'on puisse déduire avec une forte probabilité, à partir de leur bilan hydrologique, quelle a été l'allure des salinités au cours d'années où celles-ci n'ont pas été contrôlées directement.

Ainsi se trouve dégagée, pour interpréter les variations de salinités de certaines lagunes, la valeur d'une méthode à laquelle les hydrologues ne semblent pas avoir prêté jusque-là toute l'attention qu'elle mérite.

BIBLIOGRAPHIE

- ANNALES CLIMATOLOGIQUES. Pyrénées-Orientales. — *Cons. gén., Comm. météo.*, 1 fascicule annuel.
- ARNAUD (P.), 1961. — Note préliminaire sur l'hydrologie de l'étang de Salses-Leucate (température, salinité). — *Comm. int. Explor. sci. Mer Médit., Rapp. et P. V.*, **16** (3), p. 773-780, 6 fig.
- DUBOIS (P.), 1964. — Les circulations souterraines dans les calcaires de la région de Montpellier. — *Bull. Bur. Rech. géol. minières*, n° 2, 31 p.
- GOT (H.), 1965. — Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Feuille-Fitou (Corbières) et de la Salanque (Roussillon). — Montpellier, Université, thèse de 3^e cycle.
- LE DANTEC (J.), 1960. — Observations complémentaires sur les conditions de milieu du bassin d'Arcachon. — *Cons. int. Explor. Mer., Shellfish Com.*, n° 28 (ronéo).
- REMIERAS (G.), 1960. — L'hydrologie de l'ingénieur. — PARIS, EYROLLES, 413 p.
-