

A C T A A D R I A T I C A  
INSTITUTI BIOLOGICO-OCEANOGRAPHICI  
SPLIT (JUGOSLAVIJA)

---

No. 7

RECHERCHES SUR L'ALCALINITÉ ET  
L'ÉQUILIBRE DE L'ACIDE CARBONIQUE  
DANS LES EAUX COTIÈRES DE  
L'ADRIATIQUE ORIENTAL MOYEN

par

A. Ercegović



SPLIT 1935  
BIOLOŠKO-OKEANOGRAFSKI INSTITUT



# Recherches sur l'alcalinité et l'équilibre de l'acide carbonique dans les eaux cotières de l'Adriatique oriental moyen

Par  
A. Ercegović

## Introduction

Le calcaire et l'acide carbonique, dans l'eau de mer, jouent un rôle extrêmement important aussi bien dans les phénomènes géochimiques que dans les phénomènes biologiques.

Au point de vue géochimique, le calcaire forme le principal constituant non seulement plus d'une moitié du fond des mers mais aussi d'une grande partie de terre ferme. D'autre part, l'acide carbonique présente le facteur qu'intervient fortement dans l'excrétion et la solution des calcaires.

Au point de vue biologique, le calcaire joue le rôle prépondérant dans la formation des carapaces, des coquilles, des squelettes externes et des autres parties solides des êtres vivants marins tels que les algues calcaires, les coccolithophorides, les coralles, les éponges calcaires, les mollusques, les foraminifères etc. (H a d ž i). L'acide carbonique, à son tour, est un des principaux facteurs intervenant dans l'assimilation chlorophyllienne des végétaux marins et dans la formation de premiers composés organiques.

D'autre part, le calcaire et l'acide carbonique, par leur action combinée, exercent, dans l'économie de la mer, une influence de première importance. Le carbonate de chaux neutre peut s'unir à l'acide carbonique et se transformer en bicarbonate. Celui-ci, à son tour, peut se décharger d'une partie de  $\text{CO}_2$  et passer à l'état de carbonate neutre. Par cette capacité de se charger et de se décharger

d'une partie de l'acide carbonique, les carbonates deviennent les véritables régulateurs de l'acide carbonique libre sur le globe, et exercent, ainsi, une influence extraordinairement grande sur les procès géochimiques et biologiques.

Tout d'abord, les carbonates et les bicarbonates de l'eau de mer agissent sur la tension de l'acide carbonique contenu dans l'atmosphère. Quand la tension de l'acide diminue dans l'atmosphère, l'eau de mer abandonne une partie de ce gaz et, en même temps, une partie de bicarbonate passe à l'état de carbonate. Quand la tension de l'acide carbonique augmente dans l'atmosphère, l'eau de mer en dissout une partie qui passe à l'état de bicarbonate en agissant sur le carbonate. De cette façon, les carbonates et les bicarbonates de l'eau de mer sont les véritables régulateurs de l'acide carbonique dans l'air.

Les carbonates et les bicarbonates sont aussi les régulateurs de l'acide carbonique dans l'eau de mer. Quand la tension de l'acide carbonique libre, par l'action assimilatrice des plantes marines, diminue notablement, une certaine quantité de bicarbonate se transforme en carbonate en délivrant ainsi une quantité d'acide carbonique. Quand, au contraire, par une respiration intense des animaux marins ou par une oxydation quelconque, la tension de l'acide carbonique augmente, une partie de celui-ci s'unit au carbonate neutre en le transformant en bicarbonate. De cette façon les carbonates et les bicarbonates présentent un système de tampon par l'action duquel la teneur en acide carbonique de l'eau de mer, et par conséquent la réaction chimique — définie par la concentration en ion H, ou bien par son logarithme négatif, le pH — sont pratiquement constantes. De cette façon, l'eau de mer présente une solution tamponnée, stabilisée, et c'est justement ce pouvoir stabilisateur des carbonates et des bicarbonates qui fait de l'eau de mer le milieu le plus propre au développement d'une vie organique aussi bien riche que variée.

Il résulte, donc, de tout ce que nous venons de dire que le carbonate de chaux et l'acide carbonique présentent les facteurs de première importance dans l'économie des mers. C'est justement pour cette raison que les recherches océanographiques contemporaines font tous les efforts pour mettre en évidence les conditions concernant le carbonate de chaux et l'équilibre de l'acide carbonique dans les océans et les mers adjacentes. C'est la même raison qui nous a amenés à étudier ces problèmes des carbonates et de l'acide car-

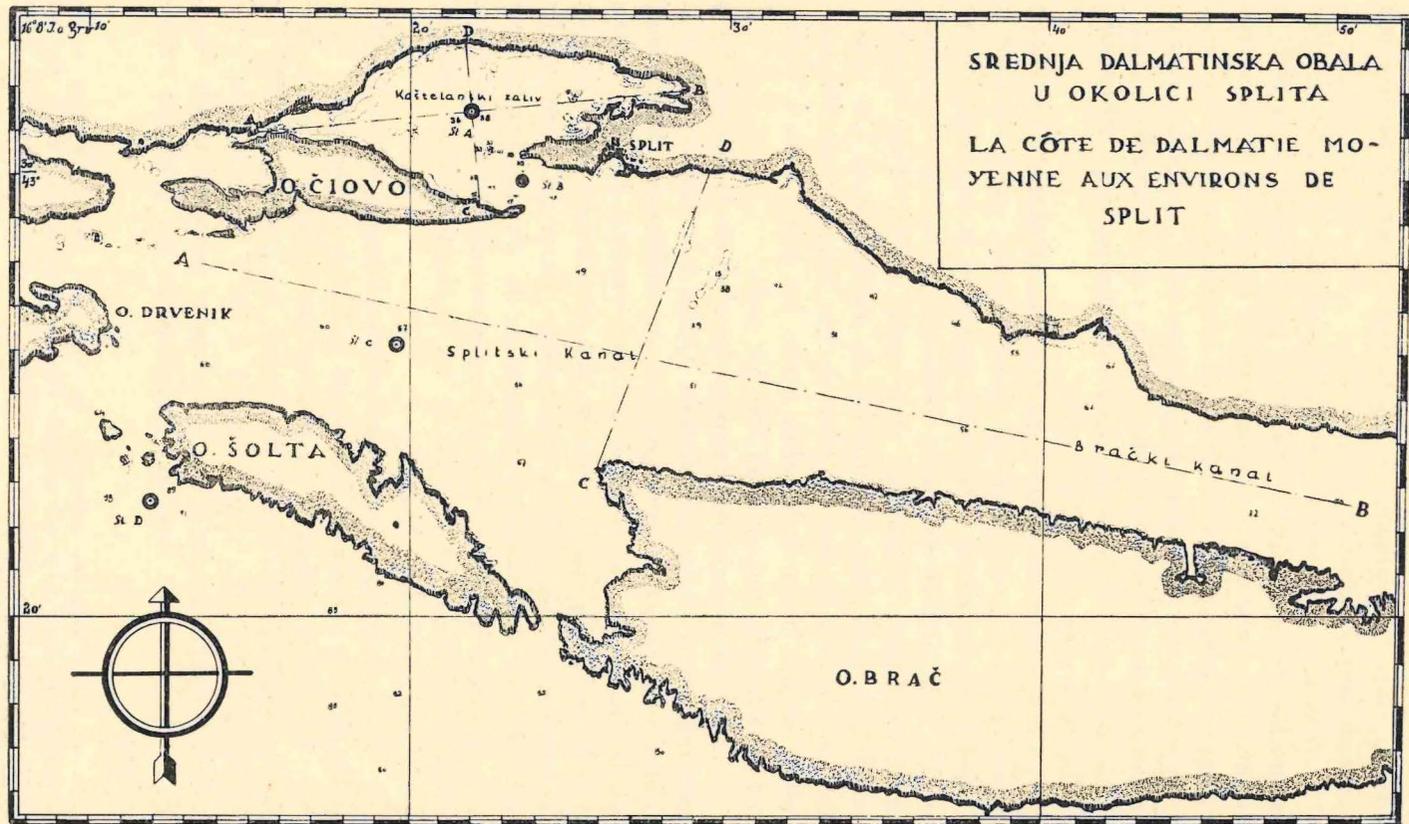


Fig. 1. Situation des stations A, B, C et D. Echelle du 328000<sup>e</sup>.

bonique dans l'Adriatique, où ces facteurs n'ont été presque pas envisagés jusqu'à présent.<sup>1</sup>

A ce but, nous avons choisi deux points: la station *A*, plus rapprochée de la côte, et la station *D*, plus éloignée de la côte et exposée à la pleine mer. Les deux stations se trouvent aux environs de Split, et présentent l'eau côtière de l'Adriatique moyen oriental. Les conditions géographiques de même que celles météorologiques de ces contrées ont été envisagées dans le No. 5 de ce périodique (1934) et, surtout, dans le *Prirodoslovna istraživanja Jug. Akademije*, sv. 19, 1934, Zagreb (voir la fig. 1).

Pour pouvoir connaître l'équilibre des carbonates et de l'acide carbonique, nous avons étudié plusieurs facteurs, parmi lesquels la température, la salinité, l'alcalinité totale et la concentration en ion H. Afin de pouvoir établir l'influence de l'action chlorophyllienne sur l'acide carbonique, nous avons étudié, d'une manière parallèle, la production quantitative du phytoplancton. Ces recherches ont été commencées au début de l'an 1934, et ont été poursuivies jusqu'à la fin de la même année. Les prises d'eau à étudier ont été effectuées une ou deux fois par mois.

Nous allons maintenant exposer les résultats de nos recherches concernant tous les facteurs étudiés. Quant à la température et la salinité, elles ne seront envisagées que tout brièvement, étant donné que le cours et les variations de ces deux facteurs dans les stations *A* et *D*, en l'année 1932/33, ont été plus détaillément décrits dans un de numéros précédents de ce périodique. En ce qui concerne les recherches sur la production quantitative du phytoplancton, nous n'en apportons ici que les résultats les plus essentiels tout en réservant les autres résultats, les données et les explications à un mémoire spécial qui va paraître bientôt.

Dans cette étude nous nous arrêtons, surtout, sur les données et les résultats concernant l'alcalinité et l'acide carbonique.

Mais avant d'aborder l'exposition des résultats de mes recherches je veux me faire plaisir d'exprimer ma gratitude à MM. les Professeurs Dr J. G e o r g é v i t s c h et Dr V. V o u k pour le vif intérêt et l'appui généreux que j'ai toujours rencontré auprès d'eux. Qu'ils veuillent bien accepter l'hommage de ma profonde reconnaissance.

<sup>1</sup> L e d e r, dans ses recherches sur l'alcalinité dans l'Adriatique a suivi la méthode de R u p p i n qui ne peut être reconnue comme privée de toute source d'erreur. C'est pourquoi les données de L e d e r doivent être considérées comme approximatives.

J. J. J.

PREMIÈRE PARTIE

Recherches sur l'alcalinité

Préliminaires

La mer peut être considérée comme une solution d'électrolytes. Quelques uns d'entre eux sont composés d'une base forte et d'un acide fort (chlorures, sulphates); d'autres en sont composés d'une base forte et d'un acide faible (carbonates, phosphates). Dittmar, en analysant les échantillons d'eau provenant de divers océans que l'expédition du »Challenger« avait recueillis, a montré que la somme des cations de bases fortes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ) est supérieure à la somme des anions d'acides forts ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ) d'environ 0,0023 d'équivalent. Cet excès de bases fortes est lié aux acides faibles, et comme on lui attribuait, autrefois, la réaction alcaline de l'eau de mer, on l'a appelé l'alcalinité. Ce nom n'a pas été convenablement élu, car l'alcalinité, par elle même, ne produit pas la réaction de l'eau de mer, mais la réaction résulte, directement, de la concentration en ion  $\text{H}^+$ . Les investigations qui succédèrent à celles de Dittmar ont montré que les acides phosphorique et silicique sont en quantités négligeables et leur action peut être éliminée.

Les recherches récentes de Goldschmidt, Harding et Moberg, de Buch et Watterberg ont montré qu'une partie assez remarquable de l'excès des bases peut être liée à l'acide borique. C'est l'alcalinité des borates. La teneur en cette alcalinité est en proportion inverse à la concentration en ion  $\text{H}^+$ , et à pH 8,0, elle peut être presque parfaitement négligée. La partie essentielle de l'excès des bases est combinée à l'acide carbonique. C'est l'alcalinité des carbonates. L'alcalinité des borates et celle des carbonates font l'alcalinité totale ou l'alcalinité de titration. Dans l'eau de mer à un pH inférieur à 8,0 l'alcalinité des carbonates peut être pratiquement identifiée avec l'alcalinité totale. Mais dans des eaux à teneurs en pH plus élevées l'alcalinité des carbonates présente la différence de l'alcalinité totale et de celle des borates.

Les investigations ultérieures ont montré que les diverses bases ne sont pas représentées dans de proportions égales. La partie principale et essentielle revient au carbonate de chaux. De cette façon, dans les eaux de mer moins alcalines, l'alcalinité peut être exprimée en quantité équivalente de carbonate et de bicarbonate de calcium.

L'alcalinité est calculée en millièmes d'équivalent, ce qui exprime le nombre de centimètres cubes d'acide chlorhydrique normal nécessaires pour transformer tous les carbonates et les bicarbonates en chlorures. L'équivalente teneur en carbonate de chaux s'exprime en grammes par litre d'eau.

Les variations de l'alcalinité totale et par conséquent celles de la teneur en carbonate de chaux, peuvent être produites par deux genres de facteur. Les uns sont d'ordre purement physique, les autres sont d'ordre chimique, que ce soit biochimique ou bien géochimique. Parmi les facteurs d'ordre physique il faut citer la dilution de l'eau de mer par de l'eau douce et la concentration par évaporation. L'action de ces facteurs ne peut faire varier les rapports réciproques des divers sels contenus dans l'eau de mer; elle se traduit simplement par des variations de la salinité. Parmi les facteurs d'ordre chimique nous citons l'extraction et la solution des carbonates par des êtres vivants marins. Ces variations font varier l'alcalinité et la teneur en carbonate dans une autre proportion que celle de la teneur en autres sels d'où il résulte que les variations de ce genre font varier la proportion réciproque des diverses composantes de la salinité. C'est justement à de pareilles variations d'ordre chimique que sont exposés les sels les plus importants pour la vie organique, tels que les carbonates, les phosphates et les nitrates. Ce genre de variations se traduit par le rapport de l'alcalinité à la teneur en chlore (A/Cl), et ce rapport s'appelle l'alcalinité spécifique. Le rapport de la teneur en carbonate de chaux à la salinité  $\left(\frac{\text{gr CaCO}_3}{\text{kg Sal}}\right)$  s'appelle la teneur relative en carbonate de chaux. Ce rapport nous montre le nombre de grammes de carbonate de chaux contenus dans un kilogramme de sel.

Dans nos déterminations de l'alcalinité nous avons suivi la méthode dont on s'est servi au bord du «Météor» (1925-27). On procédait de la manière suivante: On prenait 250 ccms d'eau, préalablement filtrée, à laquelle on ajoutait 18 cms cubes d'acide chlorhydrique 1/20 N. On la faisait bouillir pendant 1—2 minutes. Alors, on la faisait refroidir brusquement par de l'eau courante et on dosait le résidu de l'acide chlorhydrique à l'aide d'une solution titrée d'hydroxyde de barium 1/20 N. Comme indicateurs, on employait, d'après le procédé de W a t t e m b e r g, le vert de bromocrésol et le rouge de méthyl. Pendant toute l'opération on faisait passer, dans l'eau en expérience, le courant d'air privé d'acide carbonique.

Je vais aborder maintenant l'exposition des données concernant l'alcalinité. Tout d'abord, j'envisagerai les variations de l'alcalinité totale, et alors celles de l'alcalinité spécifique. De cette façon nous aurons des données qui pourront être comparées à celles qu'on a obtenues en étudiant l'alcalinité d'autres mers, parce qu'il s'est agi, jusqu'ici, dans des recherches de ce genre, d'exprimer les résultats en alcalinités totale et spécifique. En outre, dans l'exposition ultérieure, nous allons envisager, séparément, celle partie de l'alcalinité totale qui revient aux borates, et celle qui revient aux carbonates. Quant à l'alcalinité des carbonates—puisque ceux-ci sont constitués essentiellement par le carbonate de chaux—pour que les conditions et les résultats soient rendus plus clairs et plus représentables, ils seront exprimés en quantité équivalente de calcaire (en milligrammes pro litre d'eau de mer). De plus, on examinera la teneur relative en carbonate de chaux, ce qui est le rapport existant entre la teneur en carbonate de chaux et la teneur en salinité. Enfin on tâchera d'élucider les causes qui ont influé le plus sur les variations de deux composantes de l'alcalinité totale, c'est pourquoi celles-ci seront mises en parallèle avec certaines autres variables de l'eau étudiée, telles que la salinité, la température, le pH et la production phytoplanctonique.

#### Température, salinité, production phytoplanctonique

**Température.** Les graphiques de la température à la station *A* et *D* (fig. 2) permettent de distinguer deux périodes: la période d'accroissement et celle d'abaissement. Celle-là commence au mois de mars et finit par le maximum qui se rencontre à partir du mois d'août jusqu'au mois de novembre. La période d'abaissement se rencontre dans la seconde moitié d'automne et en hiver. Les minima se produisent en février. Si nous envisageons les valeurs moyennes de température, nous pouvons dire que l'été thermique a occupé, pendant cette année, la période mars-octobre, et l'hiver thermique a occupé les mois novembre-février. Donc, à ce point de vue thermique, les conditions se sont montrées presque les mêmes que celles que nous avons signalées pour l'année 1932/33.

En ce qui concerne les valeurs mêmes de température, celles-ci ne diffèrent pas notablement de celles qui se sont montrées en l'année 1932/33. Les graphiques (fig. 2) nous montrent que la température, à la station *A*, oscille entre 10° et 25° C, et à la station *D* entre 12° et 24° C.

L'été thermique est marqué d'oscillations remarquables, d'une stratification anotherme et de gradients thermiques considérables. L'automne et l'hiver montrent une tendance nette à l'homothermie. Celle-ci est dûe, surtout, à l'influence des vents de sud et des vents du nord.

Les recherches de température, en 1932/33, ont montré que le cours de la température de l'eau étudiée est déterminé par la tempé-

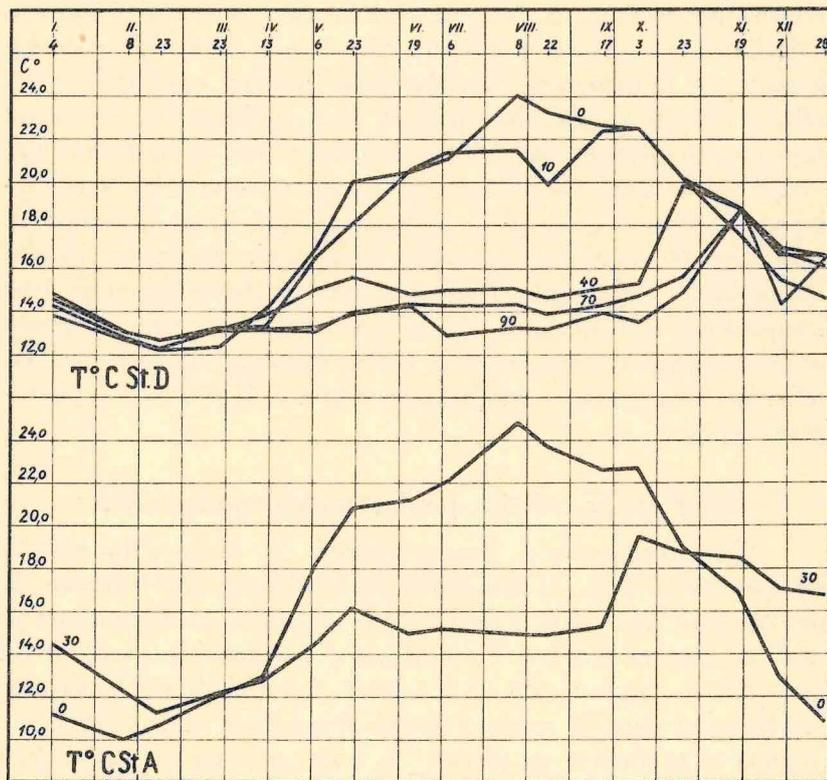


Fig. 2 Cours annuel de la température des diverses couches d'eau aux stations D et A.

rature de l'air et que le maximum et le minimum moyens dans l'eau étudiée retardent de deux mois par rapport au maximum et au minimum de l'air. A ce point de vue, pendant cette année, les conditions sont restées les mêmes.

Salinité. Le cours de la salinité, à la station A, n'est pas le même dans l'eau de surface que celui dans l'eau à 30 mètres de profondeur (fig. 3). Dans celle-ci la salinité monte à partir du

janvier jusqu'au mois de septembre lorsqu'elle passe par son maximum annuel (le 17 septembre, 38,03‰). A la surface, la salinité présente deux maximums et deux minimums. Le maximum secondaire se produit lors du minimum thermique, en février, et le maximum annuel se manifeste au temps du maximum thermique, dans la première moitié d'automne. Le minimum secondaire s'observe au commencement de printemps, en avril, et le minimum principal se rencontre à la fin d'automne. Les conditions sont ana-

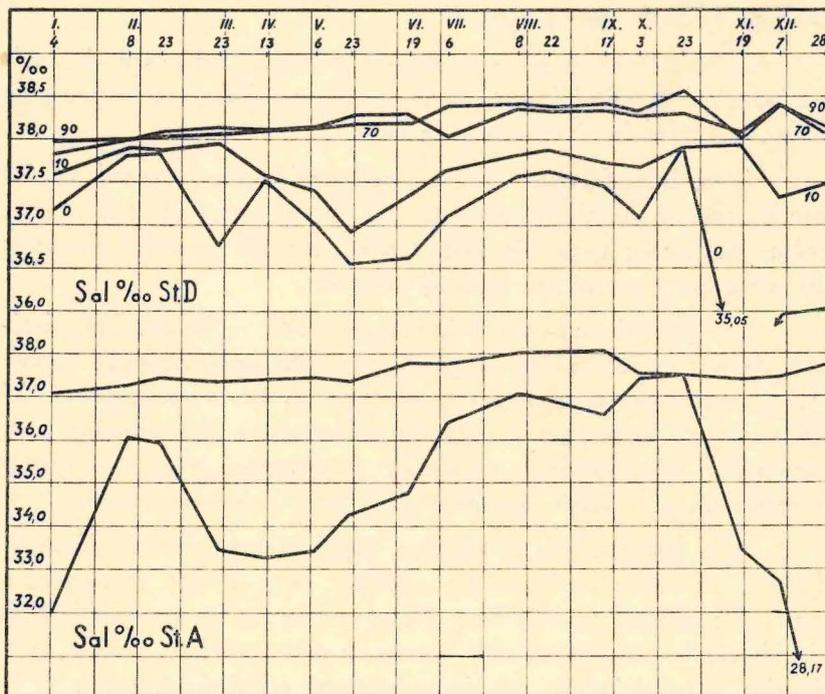


Fig. 3 Cours annuel de la salinité aux stations D et A.

logues à la station D. Dans les couches plus profondes de cette station (70—90 mètres) une élévation de salinité se produit à partir du janvier jusqu'au mois d'octobre; tandis que les couches supérieures (10 m-surface) montrent, en février, des maximums secondaires qui présentent des teneurs à peine inférieures à celles du maximum principal en octobre. De même, la station D présente dans les couches supérieures, des minimums secondaires au printemps et des minimums annuels à la fin d'automne. Comme on l'a montré dans les recherches antérieures dans les mêmes stations, ce cours de salinité est

dû, surtout, au régime des chutes météorologiques qui montre, dans nos parages, deux maximums: un maximum secondaire au commencement de printemps et le maximum annuel à la fin d'automne. Les teneurs en salinité à la station *A* se tiennent entre 28,17 (le 28 décembre à la surface) et 38,03 (le 17 septembre à 30 mètres). Ce n'est qu'exceptionnellement, au temps des plus basses valeurs, qu'elles tombent audessous de 35,5‰. A la station *D*, les teneurs varient de 35,05 (le 19 novembre à la surface) à 38,57‰ (le 23 octobre à 70 mètres). Ce n'est que pendant le minimum d'automne que les teneurs descendent audessous de 36‰.

La stratification est d'habitude katohaline. Au temps de l'élévation d'été, la salinité, dans le niveau de 70 mètres, est un peu plus haute que dans le niveau près du fond.

Les mêmes facteurs qui ont agi sur le cours annuel et les oscillations de la salinité pendant les années 1932/33 ont agi de même en l'année 1934. Ce sont, surtout, les apports d'eau douce et les vents qui y entrent en ligne de compte.

La production phytoplanctonique. Les résultats de nos recherches sur la production phytoplanctonique seront publiés en détail dans un autre mémoire. Je ne veux apporter ici qu'un aperçu sommaire de résultats concernant le cours annuel et la répartition verticale de la production planctonique, et je n'y tiendrai compte que de valeurs moyennes dans toute la hauteur d'eau.

A la station *A*, la production phytoplanctonique, au début de l'année, est déjà assez haute. Le 4 janvier, on a compté, en moyenne, 150 mille cellules dans un litre d'eau (voir la fig. 4). Pendant le mois de février la production s'est accrue de sorte qu'elle a atteint, le 8 février, son maximum secondaire (200,000 cellules). A partir de la seconde moitié de février jusqu'au mois de mai, la production planctonique a baissé, et le 6 mai on n'a compté plus de 50.000 cellules par litre. Mais aussitôt après cette date la production a commencé à s'élever brusquement et elle a atteint son maximum annuel déjà vers la fin du mai. On a compté le 25 mai, 273,041 cellules. Pendant le mois de juin la production est encore très haute, mais en juillet elle commence à baisser rapidement de façon à montrer, le 22 août, le minimum annuel. Ce jour-là on n'a compté plus de 2971 cellules en moyenne. La production demeure très basse jusqu'au début du décembre, quand il commence à se manifester une production de beaucoup plus intense.

A la station *D* les conditions sont très analogues (voir la fig. 4). On rencontre ici, da même qu'à la station *A*, deux maximums: celui d'hiver qui se manifeste en février, et le maximum principal qui se produit en juin. Le 19 juin on a compté, en moyenne, 76,185 cellules par litre. A partir du juillet la production s'abaisse rapidement pour atteindre son minimum le 17 septembre (3,251 cellules). Ce n'est que vers la fin de l'année que la production commence à montrer une légère élévation.

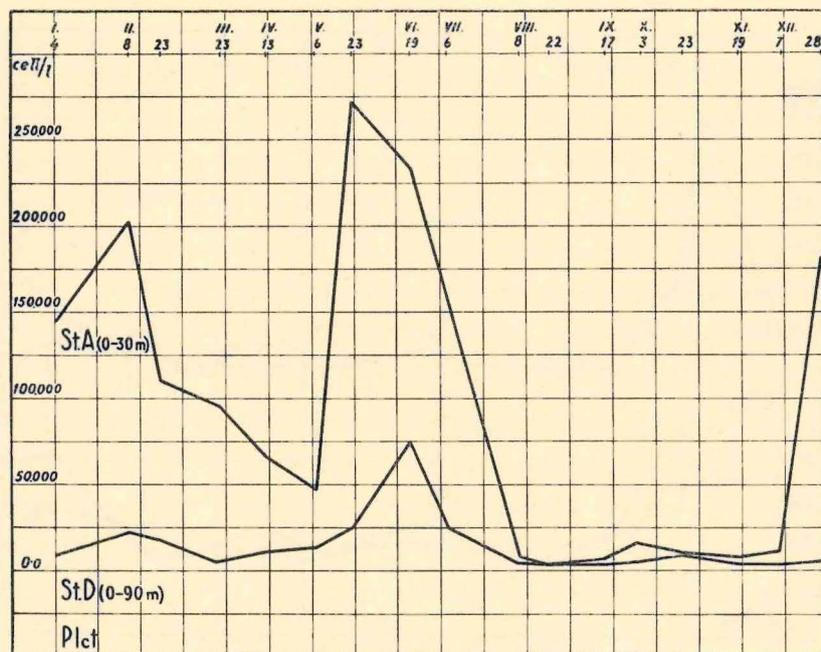


Fig. 4 Production quantitative du phytoplancton aux stations A et D.

Comme il résulte de ce que nous venons de dire, nos eaux côtières présentent deux maximums de production phytoplanktonique: le maximum secondaire qui se rencontre en février, et le maximum principal aux mois de mai ou de juin. Pendant l'été thermique, les eaux étudiées montrent le minimum annuel de la production.

Quant aux deux stations diverses, la station *A*, plus rapprochée de la côte, montre une production de beaucoup plus riche que la station *D*.

En ce qui concerne la répartition verticale de la masse planctonique, à la station *A*, elle est beaucoup plus grande à la surface qu'au niveau de 30 mètres. A la station *D*, le maximum de production se rencontre aussi en surface.

Vis-à-vis des problèmes que nous traitons ici, c'est le groupe de coccolithophorides qui nous intéresse le plus, parce que les parties dures de ces organismes sont construites en calcaire. Le maximum de production de coccolithophorides s'observe au mois de mai. Le nombre de ces organismes varie, pendant le maximum, de

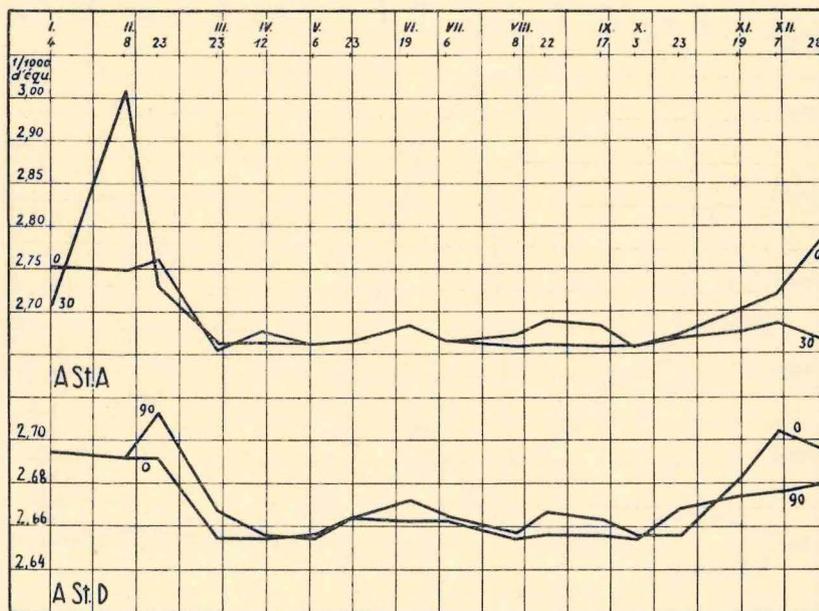


Fig. 5 Cours annuel de l'alcalinité totale aux stations A et D.

10416 (à la station *A*) à 7734 (à la station *D*). Quant à la distribution verticale de ces organismes, ceux-ci montrent le maximum de développement à la surface (à la station *A*) ou bien dans le niveau de 10 mètres (à la station *D*).

#### Alcalinité totale (alcalinité de titration, A)

Les graphiques qui présentent le cours de l'alcalinité totale (voir la fig. 5) permettent de distinguer deux périodes: la période d'alcalinité plus basse et celle d'alcalinité plus élevée. Celle-ci se montre surtout en hiver, celle-la en été.

Au commencement de nos observations, le 4 janvier, nous avons trouvé, à la station *A*, dans la couche de 30 mètres, une alcalinité de 2,705, et dans la couche superficielle une alcalinité de 2,753 mil. d'équ. Le haut degré d'alcalinité s'est maintenu pendant le mois de février et il a atteint son maximum le 8 février dans le niveau de 30 mètres (2,960). A partir du mois de mars jusqu'au mois d'octobre l'alcalinité montre de teneurs moins élevées. Pendant ce temps-là elle ne surpasse pas la valeur maximum de 2,691; elle se tient le plus souvent entre 2,660—2,680. Aux mois de novembre et de décembre l'alcalinité monte rapidement, surtout en surface.

La station *D* nous présente de variations saisonnières analogues à celles de la station *A*. A partir du mois de novembre jusqu'au mois de février, l'alcalinité se tient, à tous les niveaux, entre 2,675 et 2,713. Au contraire, à partir du mois de mars jusqu'au mois d'octobre, elle se tient entre 2,655 et 2,673.

Ni pendant la période des teneurs plus élevées, ni pendant celle des teneurs plus basses le cours de l'alcalinité n'est tout à fait régulier mais il montre d'oscillations remarquables. De plus, celles-ci ne montrent pas une allure parallèle dans les divers niveaux. Alors qu'on rencontre, quelque fois, un abaissement d'alcalinité dans certaines couches d'eau, on rencontre, en même temps, une augmentation d'alcalinité dans les autres. Un exemple nous en est donné le 3 octobre.

En ce qui concerne l'amplitude d'oscillations annuelles, celle-ci est d'autant plus grande que la station est plus rapprochée de la côte. La station *A* (voir le tableau 1), plus rapprochée de la côte,

Tableau 1. Chiffres extrêmes et oscillation de l'alcalinité totale (1/1000 d'équiv.) de l'eau de mer à la St. A

eau de surface	{	maximum	2,785	le 28 décembre
		minimum	<u>2,655</u>	le 23 mars
		oscillation	0,130	
eau à 30 mètres	{	maximum	2,960	le 8 février
		minimum	<u>2,657</u>	le 8 août
		oscillation	0,303	

avec son maximum de 2,960 (le 8 février, dans le niveau de 30 mètres) et son minimum de 2,655 (le 23 mars à la surface) présente la plus grande amplitude annuelle d'oscillation (0,305). La station *D* (voir le tableau 12), plus éloignée de la côte, avec son maximum

Tableau 2. Chiffres extrêmes et oscillation de l'alcalinité totale (1/1000 d'équiv.) de l'eau de mer à la St. D

eau de surface	{ maximum	2,705	le 7 décembre
	{ minimum	<u>2,655</u>	le 23 mars
	{ oscillation	0,050	
eau à 10 mètres	{ maximum	2,695	le 4 janvier
	{ minimum	<u>2,652</u>	le 8 août
	{ oscillation	0,043	
eau à 40 mètres	{ maximum	2,701	le 23 février
	{ minimum	<u>2,651</u>	le 8 août
	{ oscillation	0,050	
eau à 70 mètres	{ maximum	2,710	le 23 février
	{ minimum	<u>2,653</u>	le 13 avril
	{ oscillation	0,057	
eau à 90 mètres	{ maximum	2,713	le 23 février
	{ minimum	<u>2,655</u>	le 6 mai
	{ oscillation	0,058	

de 2,713 (le 23 février, près du fond) et son minimum de 2,651 (le 8 août dans le niveau de 40 m) ne montre, au contraire, qu'une oscillation annuelle de 0,062, c'est à dire presque 8 fois moindre que la station A.

En ce qui concerne la stratification, les diverses couches d'eau se comportent d'une manière différente. En général vaut la règle: la teneur diminue avec la profondeur. Si l'on considère les valeurs moyennes annuelles (voir le tableau 7, page 25), on trouve, à la surface de la station A, une alcalinité moyenne de 2,697 tandis que, à la même station, l'alcalinité moyenne de la couche infime (à 30 m) est de 2,689. A la station D, l'alcalinité moyenne augmente à partir de la couche de dix mètres (2,668) jusqu'au fond (2,670). Cependant l'alcalinité moyenne de la couche superficielle est de 2,671, donc un peu plus grande que celle de la couche infime. Toutes les couches présentent, quelque fois, l'homoalcalinité. Cela arrive, par exemple, le 8 février à la station D. Le 23 février, et le 23 mars, à la même station, l'alcalinité augmente un peu avec la profondeur.

En ce qui concerne l'ordre de grandeur des teneurs, les deux stations présentent de particularités considérables. La station A., montre des teneurs de beaucoup plus élevées que ne le montre la

station *D*. Les teneurs moyennes annuelles de différentes couches varient, à la station *A*, de 2,689 (à 30 mètres) à 2,697 (à la surface), tandis que, à la station *D*, elles varient de 2,668 (à 10 mètres de profondeur) à 2,671 (à la surface). L'alcalinité moyenne annuelle des eaux étudiées à la station *A* est de 2,693, tandis que celle à la station *D* est de 2,669.

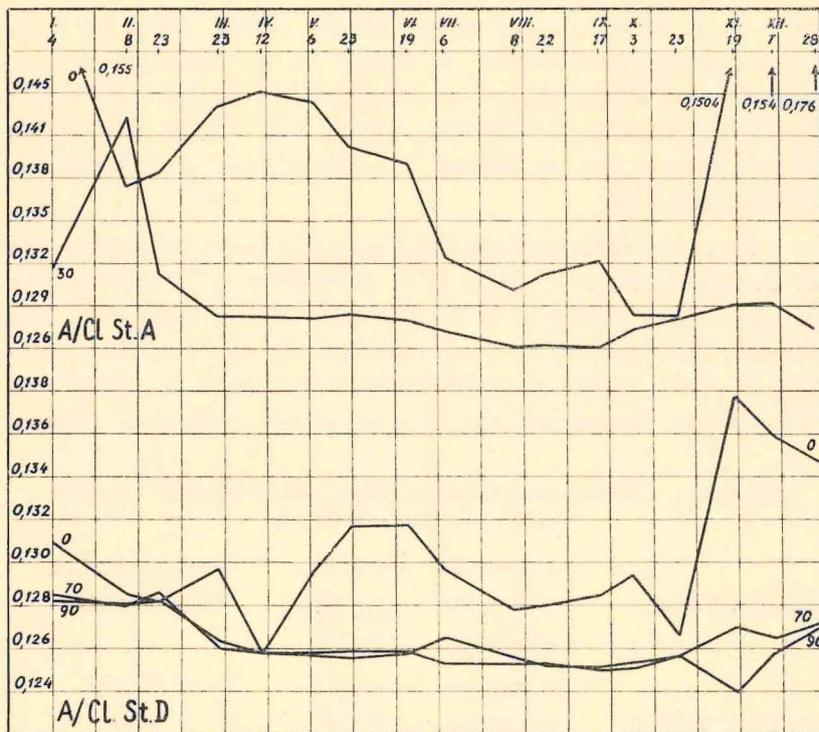


Fig. 6 Cours annuel de l'alcalinité spécifique aux stations A et D.

### Alcalinité spécifique (A/Cl)

Le cours de l'alcalinité spécifique marque des variations remarquables qui sont en rapport avec la saison, la profondeur et l'éloignement de la côte (voir la fig. 6).

A la station *A*, l'alcalinité spécifique est au début de l'année très élevée. Elle varie de 0,1318 (à 30 mètres de profondeur) à 0,1552 (à la surface). A la surface, la teneur se maintient haute jusqu'au début de l'été quand elle commence à baisser rapidement. Après avoir atteint sa valeur minimum (le 23 octobre 0,1287) elle

commence à remonter vers son maximum d'hiver qui se manifeste le 28 décembre (0,1768). Dans le niveau de 30 mètres, l'alcalinité spécifique passe par son maximum annuel déjà le 8 février. Au mois de mars, elle commence à baisser rapidement, et la baisse se poursuit jusqu'au minimum qui se manifeste le 8 août (0,1262). Au mois d'octobre elle recommence à monter.

A la station *D*, les conditions sont tout à fait analogues à celles de la station *A*. Les teneurs élevées, qu'on rencontre le 4 janvier, commencent bientôt à baisser et la chute se poursuit jusqu'au mois d'octobre ou bien de novembre, quand une nouvelle élévation commence à s'installer. Quant à la couche de surface, celle-ci montre des oscillations très grandes et très irrégulières pendant tout l'été.

En ce qui concerne l'amplitude annuelle de ces oscillations, elle est en rapport avec la station et la profondeur de la couche. Plus la station est rapprochée de la côte, plus grandes sont les oscillations qu'elle présente. La station *A*, avec son maximum de 0,1768 (eau de surface, le 28 décembre) et son minimum de 0,1262 (le 8 août dans le niveau de 30 mètres) présente la plus grande oscillation annuelle

Tableau 3. Chiffres extrêmes et oscillation de l'alcalinité spécifique (A/Cl) de mer à la St. A

eau de surface	{ maximum	0,1768	le 28 décembre
	{ minimum	<u>0,1287</u>	le 23 octobre
	{ oscillation	0,0481	
eau à 30 mètres	{ maximum	0,1426	le 8 février
	{ minimum	<u>0,1262</u>	le 8 août
	{ oscillation	0,0164	

(0,0506, voir le tableau 3). La station *D*, plus éloignée de la côte, avec son maximum de 0,1378 (eau de surface, le 19 novembre) et avec son minimum de 0,1240 (eau à 90 mètres, le 19 novembre) ne montre qu'une oscillation annuelle de 0,0138 (voir le tableau 4).

Tableau 4. Chiffres extrêmes et oscillation de l'alcalinité spécifique (A/Cl) de l'eau de mer à la St. D

eau de surface	{ maximum	0,1378	le 19 novembre
	{ minimum	<u>0,1266</u>	le 23 octobre
	{ oscillation	0,0112	

eau à 10 mètres	{ maximum	0,1301	le 23 mai
	{ minimum	<u>0,1263</u>	le 23 mars
	{ oscillation	0,0038	
eau à 40 mètres	{ maximum	0,1288	le 4 janvier
	{ minimum	<u>0,1250</u>	le 3 octobre
	{ oscillation	0,0038	
eau à 70 mètres	{ maximum	0,1286	le 23 février
	{ minimum	<u>0,1248</u>	le 23 octobre
	{ oscillation	0,0038	
eau à 90 mètres	{ maximum	0,1281	le 4 janvier
	{ minimum	<u>0,1240</u>	le 19 novembre
	{ oscillation	0,0041	

L'ordre de grandeur des oscillations varie aussi avec la profondeur. Plus la couche est rapprochée de la surface, plus grandes oscillations elle démontre. A la station *A*, la couche de surface avec son maximum de 0,1768 (le 28 décembre) et avec son minimum de 0,1287 (le 23 octobre) montre une oscillation annuelle de 0,0481, tandis que la couche à trente mètres de profondeur avec son maximum de 0,1426 (le 8 février) et son minimum de 0,1262 (le 8 août) ne montre qu'une oscillation de 0,0164, c'est à dire 3 fois moindre. A la station *D*, la couche de surface présentant un maximum de 0,1378 (le 19 novembre) et un minimum de 0,1266 (le 23 octobre) montre une oscillation annuelle de 0,0112, tandis que la couche près du fond avec son maximum de 0,1281 (le 4 janvier) et le minimum de 0,1240 (le 19 novembre) ne présente qu'une oscillation annuelle de 0,0041, c'est à dire plus que six fois moindre.

En ce qui concerne la stratification, l'alcalinité spécifique la plus élevée se trouve, le plus souvent, dans les eaux de surface. Elle diminue avec la profondeur de façon que les valeurs minima se trouvent ou près du fond ou quelques mètres audessus du fond.

A la station *A*, la teneur annuelle moyenne de la couche de surface est de 0,141 et celle de la couche du fond est de 0,132 (voir le tableau 7). A la station *D*, la teneur annuelle moyenne des eaux de surface est de 0,130, tandis que celle des eaux du fond est de 0,126 (voir le tableau 8). Souvent, à la station *D*, les valeurs minima se trouvent dans la couche de 70 mètres.

Si l'on compare les données concernant l'alcalinité spécifique, que nous venons d'apporter ici pour les eaux étudiées de l'Adriatique,

à celles qu'on a données pour l'Atlantique, la mer du Nord et la mer Baltique, on s'aperçoit bien vite que les teneurs en alcalinité spécifique des eaux de l'Adriatique sont considérablement supérieures à celles de l'océan Atlantique et des mers citées. Les recherches du «Météor» (1925/27) ont montré, pour l'océan Atlantique qui a une salinité d'environ 35<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, une alcalinité spécifique qui s'établit aux environs de 0,123. Dans la mer du Nord, pour la même salinité de 35<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, on a constaté à peu près la même alcalinité spécifique, c'est à dire celle de 0,123. Pour les salinités moindres on a constaté des alcalinités spécifiques plus élevées. Ainsi, dans le Kattegat, on a trouvé, à une salinité de 30<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, une alcalinité spécifique de 0,131. Dans nos eaux étudiées, on ne rencontre jamais une alcalinité spécifique de 0,123. Même à des salinités le plus élevées, qu'on ait pu constater et qui surpassent 38<sup>0</sup>/<sub>00</sub> on n'a pu trouver jamais une alcalinité spécifique qui descende audessous de 0,125. Déjà à une salinité de 35<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, on rencontre, dans nos eaux, une alcalinité spécifique variant entre 0,138—0,140. A une salinité de 32<sup>0</sup>/<sub>00</sub> — qu'on ne peut, d'ailleurs, rencontrer qu'en hiver et très rarement — on peut constater une alcalinité spécifique de 0,155. Il résulte, donc, de ces données que l'alcalinité spécifique des eaux de l'Adriatique est relativement de beaucoup plus élevée que celle de l'océan Atlantique et des mers adjacentes du nord de l'Europe.

En résumé, l'alcalinité spécifique augmente vers l'hiver et la surface, elle tombe vers l'été et vers les niveaux plus profonds. Elle est de beaucoup plus élevée dans les eaux étudiées de l'Adriatique que dans celles de l'océan Atlantique et des mers situées au nord de l'Europe.

#### Alcalinité des borates (A<sub>B</sub>)

A la station *A*, la teneur en alcalinité des borates varie, au commencement de l'année, de 0,078 (à la surface) à 0,114 (près du fond) et à la station *D* de 0,111 (à la surface) à 0,118 (à 90 mètres, voir la fig. 7). A partir de ce temps-là dans la plupart des couches, l'alcalinité des borates baisse encore pour atteindre ses valeurs minima au mois de février ou de mars. Les minima varient, à la station *A*, de 0,064 (le 28 décembre à la surface) à 0,100 (le 23 février à 30 mètres de profondeur). A la station *D* ils varient de 0,100 (le 23 mars à la surface) à 0,108 (le 6 mai à 70 mètres). Au mois d'avril l'alcalinité des borates commence à monter pour atteindre les valeurs maxima au cours de l'été, à partir du mois de

juin (les couches de 0 et 10 mètres) jusqu'au mois de novembre (la couche de 90 mètres). Les maxima varient, à la station *A*, de 0,122 (le 3 octobre à 30 mètres de profondeur) à 0,130 (le 6 juillet à la surface). A la station *D*, ils varient de 0,118 (le 19 novembre à 90 mètres) à 0,132 (le 19 juin à la surface et à dix mètres). Au mois de novembre l'alcalinité des borates commence à diminuer dans tous les niveaux.

Donc, en ce qui concerne la marche saisonnière de l'alcalinité des borates, nous pouvons nettement distinguer deux périodes: la

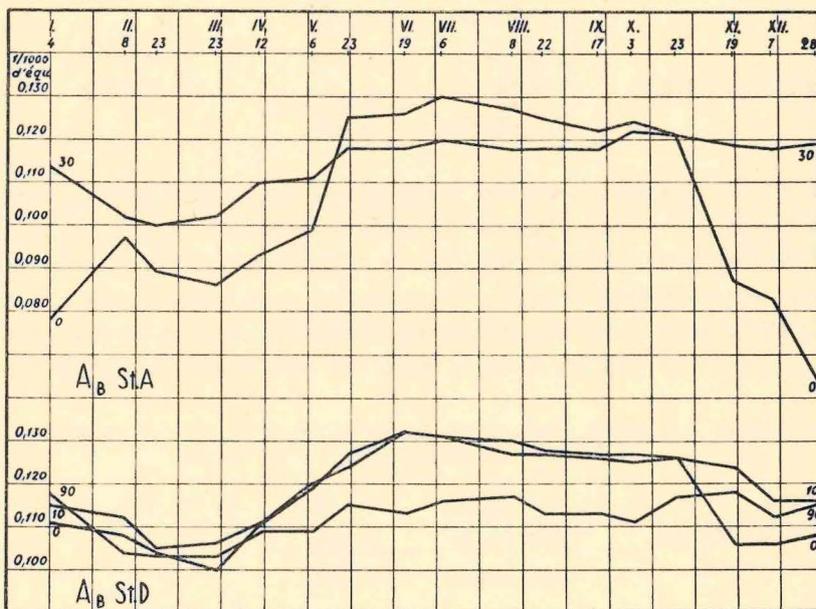


Fig. 7 Cours annuel de l'alcalinité des borates aux stations A et D.

période d'abaissement qui se montre en automne et en hiver, à partir du mois de novembre jusqu'au mois de mars, et la période d'élévation qui se produit au printemps et en été, c'est donc à partir du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre.

Les différences extrêmes de l'alcalinité des borates et l'amplitude d'oscillation dans les divers niveaux des stations *A* et *D* sont consignées sur les tableaux 5 et 6. La valeur la plus élevée (0,132) nous se présente dans l'eau de surface à la station *D* (le 19 juin) et la plus basse à la surface de la station *A* (0,064). A la station *A*, l'alcalinité des borates varie entre 0,130 (eau de surface, le 6 juillet)

et 0,064 (la même eau, le 28 décembre). A la station *D*, elle varie entre 0,132 (le 19 juin, l'eau de surface) et 0,100 (le 23 mars en surface). Quant à l'amplitude d'oscillation des diverses couches, elle est d'autant plus grande que la station est plus rapprochée de la côte et que les couches sont plus près de la surface. A la station *A*,

Tableau 5. Chiffres extrêmes et oscillation de la teneur en alcalinité des borates (1/1000 d'équiv.) à la st. *A*

eau de surface	{ maximum	0,130	le 6 juillet
	{ minimum	<u>0,064</u>	le 28 décembre
	{ oscillation	0,066	
eau à 30 mètres	{ maximum	0,122	le 3 octobre
	{ minimum	<u>0,100</u>	le 23 février
	{ oscillation	0,022	

la couche de surface avec son maximum de 0,130 (le 6 juillet) et le minimum de 0,064 (le 28 décembre) présente une amplitude d'oscillation de 0,066, tandis que la couche d'eau près du fond, avec son maximum de 0,122 (le 3 octobre) et le minimum de 0,100 (le 23 février) ne montre qu'une amplitude d'oscillation de 0,022. A la station *D*, l'eau de surface, avec son maximum de 0,132 (le

Tableau 6. Chiffres extrêmes et oscillation de la teneur en alcalinité des borates (1/1000 d'équiv.) à la st. *D*

eau de surface	{ maximum	0,132	le 19 juin
	{ minimum	<u>0,100</u>	le 23 mars
	{ oscillation	0,032	
eau à 10 mètres	{ maximum	0,132	le 19 juin
	{ minimum	<u>0,105</u>	le 23 février
	{ oscillation	0,027	
eau à 40 mètres	{ maximum	0,126	le 23 octobre
	{ minimum	<u>0,105</u>	le 23 février
	{ oscillation	0,021	
eau à 70 mètres	{ maximum	0,120	le 7 juillet
	{ minimum	<u>0,108</u>	le 6 mai
	{ oscillation	0,012	
eau à 90 mètres	{ maximum	0,118	le 19 novembre
	{ minimum	<u>0,103</u>	le 23 mars
	{ oscillation	0,015	

19 juin) et le minimum de 0,100 (le 23 mars) présente une oscillation de 0,032, pendant que l'eau à 90 mètres de profondeur, avec son maximum de 0,118 (le 19 novembre) et le minimum de 0,103 (le 23 mars), ne montre qu'une oscillation de 0,015.

Pour nous renseigner sur la répartition verticale de l'alcalinité des borates des diverses couches nous allons envisager les valeurs moyennes annuelles des différents niveaux (voir les tableaux 7 et 8). Il en suit que l'alcalinité des borates, à la station *D*, s'élève à partir de la surface (0,117), jusqu'au niveau de 10 mètres où elle atteint sa valeur maximum (0,1205). A partir de cette couche, elle commence à diminuer, et la diminution se poursuit jusqu'au fond où elle atteint son minimum de 0,112. Mais quant à la station *A*, la valeur moyenne annuelle, qui est de 0,1045 à la surface, augmente un peu vers le fond, et dans le niveau de 30 mètres elle est de 0,1145. Si nous envisageons de plus près les teneurs en alcalinité des borates des diverses couches nous voyons, qu'elles se comportent, au point de vue de stratification, diversement suivant la saison. Pendant la période d'hiver (novembre—avril) les teneurs maxima montent vers les couches de surface, tandis que pendant la période d'été (mai—octobre) elles descendent vers les couches inférieures. De cette façon, à la station *A*, les eaux de surface ont, pendant l'hiver, une alcalinité des borates plus basse que le couches du fond, tandis que, en été, elles montrent une alcalinité des borates supérieure à celles du fond. Quelque chose d'analogue se passe à la station *D*.

Pour résumer tout ce que nous venons d'apporter sur l'alcalinité des borates, nous pouvons dire qu'elle augmente en été et vers la surface et qu'elle diminue en hiver et vers le fond. Par contre, à la station *A*, les minima d'hiver se produisent dans les eaux de surface.

Tableau 7. Valeurs moyennes annuelles de l'alcalinité totale, de l'alcalinité spécifique, de l'alcalinité des borates, de la teneur en  $\text{CaCO}_3$  et de la teneur en  $\frac{\text{g Ca CO}_3}{\text{kg Sal}}$  à la st. *A*.

Profondeur	Alcalinité totale $\frac{1}{1000}$ d'équ.	Alcalinité spécifique	Alcalinité des borates $\frac{1}{1000}$ d'équ.	$\text{Ca CO}_3$ mgs/l	$\frac{\text{g Ca CO}_3}{\text{kg Sal}}$
0	2.697	0.141	0.1045	129.67	3.743
30	2.689	0.132	0.1145	128.71	3.441

Tableau 8. Valeurs moyennes annuelles de l'alcalinité totale, de l'alcalinité spécifique, de l'alcalinité des borates, de la teneur en  $\text{CaCO}_3$  et de la teneur en  $\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg Sal}}$  à la st. D.

Profondeur	Alcalinité totale $\frac{1}{1000}$ d' équ.	Alcalinité spécifique	Alcalinité des borates $\frac{1}{1000}$ d' équ.	$\text{CaCO}_3$ mgs/l	$\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg Sal}}$
0	2.671	0.130	0.117	127.74	3.455
10	2.668	0.128	0.1205	127.40	3.386
40	2.668	0.1267	0.117	127.55	3.354
70	2.669	0.1262	0.114	127.75	3.343
90	2.670	0.126	0.112	127.90	3.349

#### La teneur absolue en carbonate de chaux ( $\text{CaCO}_3$ mgs)

Le graphique présentant le cours du carbonate de chaux à la station *A* montre que la teneur en carbonate de chaux au début de l'année est assez élevée aussi bien dans la couche de 30 mètres que dans celle de surface (voir la fig. 8). Elle varie entre 133,7 (à la surface) et 129,5 milligrammes (à 30 mètres). En février, dans le niveau de 30 mètres, la teneur monte et atteint, le 8 février, son maximum annuel qui est de 142,9 mgs. Ce jour même, à la surface, la teneur baisse un peu. Le 23 février la teneur en carbonate de chaux s'élève à la surface et baisse un peu dans la profondeur de 30 mètres. Dans la seconde moitié du mois de mars la teneur en carbonate diminue rapidement dans tous les niveaux et malgré d'oscillations remarquables la baisse se poursuit pendant les mois suivants jusqu'au trois octobre, le jour où l'on rencontre les teneurs minima. Celles-ci sont de 126,6 (à la surface) et de 126,7 (à 30 mètres). Au mois de novembre et de décembre la teneur en carbonate de chaux s'élève brusquement et atteint, à la surface, son maximum annuel (le 28 décembre, 136 mgs).

Le cours de la teneur en carbonate de chaux à la station *D* et tout à fait analogue à celui de la station *A*. Nous y trouvons, pendant les deux premiers mois de l'année, des teneurs élevées, qui atteignent, en février, dans tous les niveaux, excepté celui de la surface, leurs maxima annuels. Ceux-ci se rencontrent le 23 février. Leurs valeurs oscillent entre 129,3 (à 10 mètres) et 130,5 (à 90 mètres). Déjà dans la seconde moitié de mars la teneur en carbonate

diminue assez rapidement dans toute la hauteur d'eau, et cette baisse se poursuit jusqu'au 8 août, le jour où l'on rencontre les minima annuels dans tous les niveaux. Les valeurs de ces minima annuels varient entre 126,1 (à 10 mètres) et 126,9 (à 90 mètres). Les teneurs basses se maintiennent, plus ou moins, jusqu'au mois d'octobre et ce n'est qu'en novembre qu'elles commencent à monter dans toutes les couches d'eau. La couche de surface atteint son maximum annuel le 7 décembre.

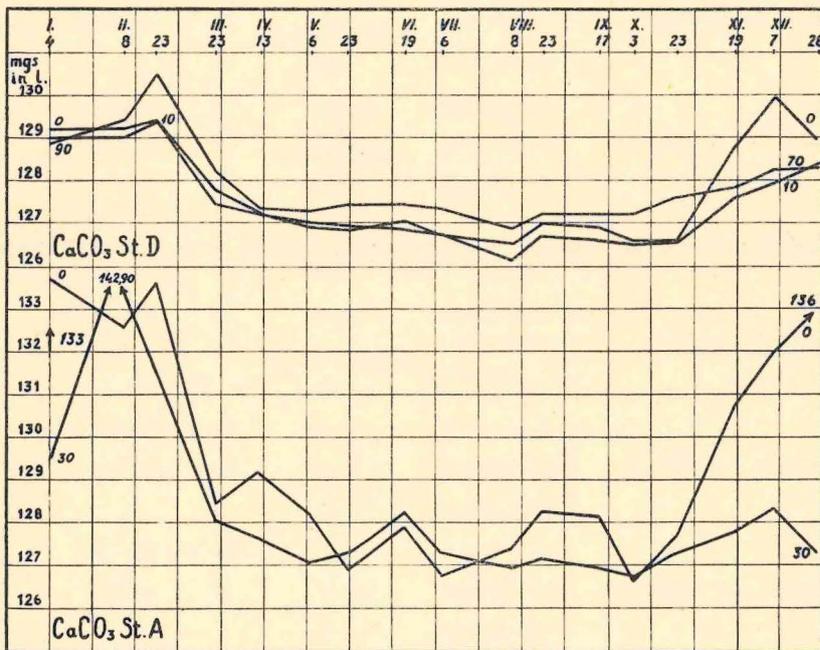


Fig. 8 Cours annuel du carbonate de chaux aux stations D et A.

Il résulte de ce que nous venons de rapporter sur les variations de carbonate de chaux qu'il existe deux périodes: la période des teneurs plus basses et celle des teneurs beaucoup plus élevées. La première occupe les mois d'été, à partir du mois de mars jusqu'au mois d'octobre. La seconde se poursuit pendant le reste de l'année. Au cours de la période des teneurs plus basses le carbonate de chaux varie, à la station A, entre 126,6 et 129,2 et, à la station D, entre 126,1 et 128,2. Lors de la période des teneurs plus élevées, le carbonate varie, à la station A, entre 127,3 et 142,9, et à la station D, entre 127,6 et 130,5 mgs.

Les oscillations annuelles du carbonate de chaux varient suivant la station et la profondeur. La station *A*, plus rapprochée de la côte, montre des oscillation beaucoup plus grandes que la station *D*. La couche de surface, à la station *A*, avec son maximum de 136 mgs et le minimum de 126,6 présente une oscillation

Tableau 9. Chiffres extrêmes et oscillation de la teneur en carbonate de chaux (en mgs/1000 ccm) à la St. A

eau de surface	maximum	136,05	le 28 décembre
	minimum	<u>126,65</u>	le 3 octobre
	oscillation	9,4	
eau à 30 mètres	maximum	142,9	le 8 février
	minimum	<u>126,75</u>	le 3 octobre
	oscillation	16,15	

Tableau 10. Chiffres extrêmes et oscillation de la teneur en carbonate de chaux (mgs/1000 ccm) à la St. D

eau de surface	maximum	129,9	le 7 décembre
	minimum	<u>126,5</u>	le 8 août
	oscillation	3,4	
eau à 10 mètres	maximum	129,35	le 23 février
	minimum	<u>126,10</u>	le 8 août
	oscillation	3,25	
eau à 40 mètres	maximum	129,8	le 23 février
	minimum	<u>126,5</u>	le 8 août
	oscillation	3,3	
eau à 70 mètres	maximum	130,4	le 23 février
	minimum	<u>126,7</u>	le 8 août
	oscillation	3,7	
eau à 90 mètres	maximum	130,5	le 23 février
	minimum	<u>126,9</u>	le 8 août
	oscillation	3,6	

maximum de 9,4 mgs, tandis que la même couche d'eau de surface, à la station *D*, avec le maximum de 129,9 (le 7 décembre) et le minimum de 126,5 (le 8 août) montre une oscillation maximum de 3,4 mgs. La plus grande oscillation annuelle à la station *A*, est celle qu'on rencontre dans les eaux de 30 mètres et qui est de 16,15 mgs.

La plus grande oscillation annuelle, à la station *D*, est celle qu'on trouve dans le niveau de 70 mètres, et qui importe 3,7 mgs. Quant à la profondeur, on ne peut donner une règle, mais les tableaux 9 et 10 montrent que les plus grandes oscillations annuelles s'effectuent dans de couches plus profondes.

Quant à la répartition du carbonate de chaux dans les diverses couches d'eau, nous y trouvons, en général, une stratification régulière. Pour s'en convaincre, il suffit d'envisager les teneurs moyennes annuelles des diverses couches (voir les tableaux 7 et 8). Il en résulte, à la station *A*, que les teneurs maximum se trouvent à la surface et qu'elles diminuent vers le fond. A la station *D*, la teneur maximum se trouve dans la couche du fond. A partir de cette couche, vers les niveaux supérieurs, la teneur diminue jusqu'au niveau de 10 mètres qui présente la teneur minimum en carbonate de chaux. A partir de cette couche, jusqu'à la surface, la teneur, s'élève de nouveau. A côté de ces grandes lignes de répartition du carbonate de chaux, lesquelles résultent des teneurs moyennes annuelles, les graphiques de la figure 8 nous présentent la distribution détaillée dans les couches de 0 et 30 mètres à la station *A*, et celle dans les couches de 0, 10 et 90 mètres à la station *D*. Quant à la station *A*, on peut voir que la teneur en carbonate de la couche de surface est, en hiver, de beaucoup audessus de celle de la couche de 30 mètres, tandis que, en été, on peut remarquer, plus d'une fois, le cas inverse: la teneur de la couche superficielle descend audessous de celle de la couche de 30 mètres. Le cas analogue se produit à la station *D*. Comme nous l'avons dit il y arrive le plus souvent que les maximums s'observent dans les eaux du fond et les minimums dans celles de 10 mètres. Mais la couche de surface montre une tendance nette de prendre, pendant le période estivale, la teneur minimum, et de montrer, en hiver, des teneurs maxima. Par conséquent, au mois de décembre et de janvier, la teneur maximum en carbonate de chaux ne se rencontre pas dans le niveau de 90 mètres, mais dans celui de surface, de même, au mois de mai, la teneur minimum ne s'observe pas à 10 mètres de profondeur, mais à la surface.

En résumé, la teneur en carbonate de chaux, dans les eaux étudiées, est très élevée. Elle présente des variations qui sont en rapport net avec la station, la saison et la profondeur. A la station *A*, la teneur moyenne annuelle est de 129,19 tandis que à la station *D*, plus éloignée de la côte, elle est de 127,66 mgs. Les teneurs sont plus élevées en hiver qu'en été. A la station *A*, la quantité de car-

bonate augmente, le plus souvent, vers la surface, et à la station *D*, elle augmente à partir du niveau de 10 mètres vers la surface et vers le fond.

**La teneur relative en carbonate de chaux  $\left(\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg Sal}}\right)$**

La teneur relative en carbonate de chaux subit de variations considérables qui témoignent des rapports nets avec la saison, la station et la profondeur. Ces variations nous sont données par les graphiques 11 et 12.

Le graphique 11 nous montre que la teneur relative en carbonate de chaux, à la surface de la station *A*, est de 4,17 grs, et dans le niveau de 30 mètres, de 3,50 grs (dans un kilogramme de sel). A partir de ce jour, les teneurs diminuent jusqu'à la date de 23 mars, le jour où la teneur relative varie de 3,42 (à 30 ms) à 3,48 (à la surface). Après une élévation brusque, qui se produit à la surface le 12 avril (3,88 grs), la chute de la teneur relative se poursuit, dans le niveau de 30 m, jusqu'au 8 août (3,34 grs) et dans l'eau de surface jusqu'au 3 octobre (3,40), les jours où l'on rencontre les minima annuels. Après ces-jours-ci les teneurs commencent à monter, surtout à la surface, où la teneur atteint bien vite, le 7 décembre, son maximum annuel. Le graphique présentant le cours annuel des teneurs relatives à la station *D* (fig. 12) est analogue à celui de la station *A*. Les maximums se produisent au mois de décembre (à la surface et dans la couche de 10 mètres) ou bien au mois de février (dans les autres couches). Les minimums apparaissent en octobre (eau de surface) ou bien en août (les autres couches). De cette façon nous pouvons distinguer dans les deux stations deux périodes: la période d'été, marquée d'une chute, et la période d'hiver qui est marquée d'une élévation de la teneur relative.

Ni l'élévation d'hiver ni la chute d'été ne sont complètement régulières ni continues mais elles subissent d'oscillations considérables (voir les figs. 11 et 12) qui ne montrent pas, dans tous les niveaux, une allure parallèle. La baisse de la teneur relative dans une couche coïncide parfois avec une élévation de la teneur relative dans une autre couche. De pareils exemples se présentent, à la station *A*, surtout le 8 février, et à la station *D* le 23 mars.

Quant aux amplitudes de variations annuelles, elles varient avec la station et la profondeur. Plus la station est rapprochée de la côte, plus grandes amplitudes elle présente. A la station *A*, l'amplitude

d'oscillation se tient entre 0,49 (à 30 mètres) et 1,40 (à la surface) tandis que, à la station *D*, elle se tient entre 0,111 (à 40 et à 10 mètres) et 0,347 (à la surface, voir les tableaux 11 et 12).

Tableau 11. Chiffres extrêmes et oscillation de la teneur relative en carbonate de chaux  $\left(\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg Sal}}\right)$  de l'eau de mer à la st. A.

eau de surface	{ maximum	4,80	le 7 décembre
	{ minimum	<u>3,40</u>	le 3 octobre
	{ oscillation	1,40	
eau à 30 mètres	{ maximum	3,83	le 8 février
	{ minimum	<u>3,34</u>	le 8 août
	{ oscillation	0,49	

Si l'on envisage la distribution verticale de la teneur relative en carbonate de chaux dans les diverses couches d'eau, on y trouve une stratification régulière. Qu'on considère les valeurs de la station *A* ou bien celles de la station *D* on peut observer les teneurs maxima dans les eaux de surface. A partir de la surface, la teneur relative diminue avec la profondeur. Cette diminution se poursuit, à la station *A*, jusqu'à la couche infime, tandis que, à la station *D*, elle n'atteint que la couche de 70 mètres où l'on trouve les teneurs minima. Parfois la diminution va jusqu'au fond, mais plus souvent la teneur augmente à partir de la couche de 70 mètres jusqu'au fond. Les teneurs relatives moyennes des diverses couches varient, à la station *A*, de 3,74 (à la surface) à 3,44 (à 30 ms) et à la station *D*, de 3,34 (à 70 mètres) à 3,45 (à la surface).

Il résulte donc de tout ce que nous venons d'apporter sur la teneur relative en carbonate de chaux que celle-ci présente, en tout, une allure tout à fait parallèle et analogue à celle de l'alcalinité spécifique.

Tableau 12. Chiffres extrêmes et oscillation de la teneur relative en carbonate de chaux  $\left(\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg Sal}}\right)$  de l'eau de mer à la st. D.

eau de surface	{ maximum	3,685	le 19 novembre
	{ minimum	<u>3,338</u>	le 23 octobre
	{ oscillation	0,347	
eau à 10 mètres	{ maximum	3,445	le 7 décembre
	{ minimum	<u>3,336</u>	le 8 août
	{ oscillation	0,111	

eau à 40 mètres	maximum	3,418	le 23 février
	minimum	<u>3,306</u>	le 8 août
	oscillation	0,112	
eau à 70 mètres	maximum	3,428	le 23 février
	minimum	<u>3,298</u>	le 8 août
	oscillation	0,130	
eau à 90 mètres	maximum	3,427	le 23 février
	minimum	<u>3,309</u>	le 8 août
	oscillation	0,118	

### Discussion des résultats

Nous l'avons déjà remarqué que l'alcalinité de titration est constituée en partie par l'alcalinité des carbonates (le carbonate de chaux), et en partie par l'alcalinité des borates. Ces deux alcalinités, comment se tiennent elles l'une vis-à-vis de l'autre, et toutes les deux comment se rapportent-elles à l'alcalinité de titration?

Pour répondre exactement à ces questions il suffit de prendre en considération les courbes présentant les moyennes de l'alcalinité des carbonates et celles de l'alcalinité des borates. Si nous envisageons ces courbes, à la station *D* (voir la fig. 9), nous voyons de différences essentielles en ce qui concerne leur cours annuel et l'ordre de grandeur de leurs teneurs. Le cours annuel de l'alcalinité des carbonates diffère parfaitement de celui de l'alcalinité des borates.

On peut généralement remarquer que l'alcalinité des borates baisse avec l'alcalinité des carbonates croissante, et viceversa. Cette proportion inverse se manifeste, plus ou moins, pendant l'année entière dans les deux stations. Mais on peut remarquer de cas inverses, ainsi, par ex., à la station *D* le 23 mai et le 19 juin, et à la station *A* le 12 avril et le 6 mai. Ces jours-ci le cours des deux alcalinités est plus ou moins parallèle. Mais nonobstant peu d'exceptions, on peut généralement constater la règle suivant laquelle les deux genres d'alcalinité présentent une proportion inverse. C'est justement à cause de ce fait que les maxima hivernaux de l'alcalinité des carbonates coïncident, plus ou moins, avec les minima de l'alcalinité des borates, et les minima estivaux de l'alcalinité des carbonates montrent un parallélisme saisonnier avec les maxima de l'alcalinité des borates. Quant aux teneurs moyennes, qui présentent les deux genres d'alcalinité, il y a une autre différence essentielle. Les

teneurs en alcalinité des carbonates sont de 27 à 20 fois supérieures à celles de l'alcalinité des borates. A ce point de vue, la proportion n'est pas égale en été et en hiver. Par exemple, le 23 février, à la station *D*, l'alcalinité des carbonates (2,597) se rapporte à l'alcalinité des borates (0,104) comme 24,97 à 1, tandis que, le 8 août, celle-là (2,530) se rapporte à celle-ci (0,123) comme 20,10 à 1. De même à la station *A*, le 4 janvier, l'alcalinité des carbonates (2,633) se rapporte à l'alcalinité des borates (0,096) comme 27,43 à 1, pendant que le 6 juillet celle-là (2,54) se rapporte à celle-ci (0,125) comme 20,32 à 1.

Si nous considérons les teneurs moyennes en alcalinité des carbonates et celles en alcalinité des borates de diverses couches

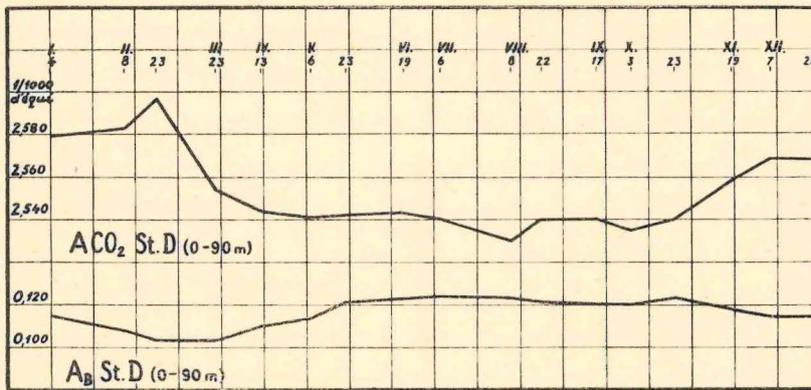


Fig. 9 Rapports entre l'alcalinité des carbonates et l'alcalinité des borates (valeurs moyennes annuelles) à la st. D.

d'eau, nous allons constater les faits analogues à ceux que nous venons de signaler pour le cours annuel. Le minimum de l'alcalinité des borates est accompagné de maximum de l'alcalinité des carbonates (à 90 mètres à la station *D*, et à 0 m à la station *A*) et les minima de celle-ci coïncident avec le maxima de celle-là (à 10 mètres à la station *D*, et à 30 ms à la station *A*). Dans le niveau de 90 mètres l'alcalinité des carbonates est 22,84 fois supérieure à l'alcalinité des borates, et dans le niveau de 10 mètres celle-là est 21,24 fois plus grande que celle-ci.

En général, la proportion entre les deux alcalinités est plus grande en hiver que pendant l'été; elle est plus grande dans le niveau de 90 mètres que à 10 mètres de profondeur.

A ce point de vue, les couches d'eau à 10 mètres audessous de la surface sont comparables à l'eau de mer en été, tandis que les eaux du fond sont comparables à celles en hiver. Etant donné que l'alcalinité des borates comprend tout au plus  $1/20$  de l'alcalinité totale, elle n'est représentée dans l'eau étudiée que d'une façon peu importante. La plus grande partie, presque la totalité de l'alcalinité totale revient à l'alcalinité des carbonates ou bien au carbonate de chaux. C'est pourquoi le graphique du cours annuel et de la répartition verticale moyens de l'alcalinité des carbonates (du carbonate de chaux) présentent une allure presque parallèle à ceux de l'alcalinité totale.

Les causes des faits ici ramenés nous apparaîtront au cours de discussion ultérieure.

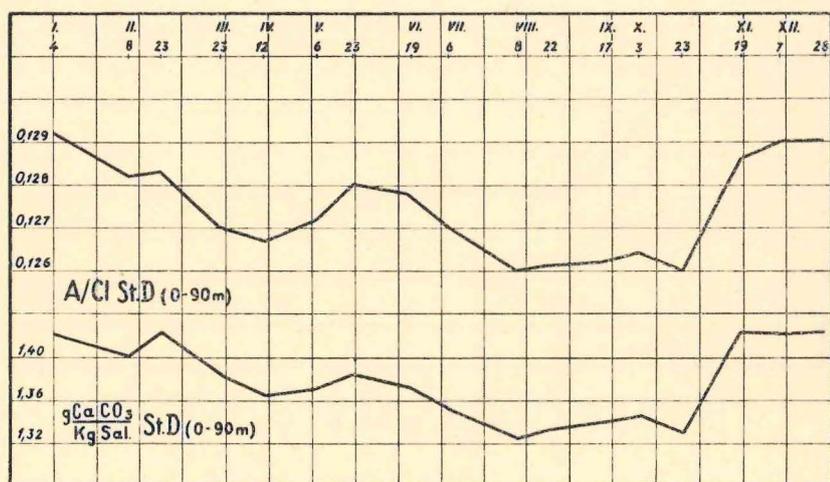


Fig. 10 Rapports entre l'alcalinité spécifique et la teneur relative en carbonate de chaux (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

#### Les causes des variations de la teneur relative en carbonate de chaux

Si l'on compare les graphiques présentant l'alcalinité spécifique et la teneur relative en carbonate de chaux à la station D (voir la fig. 10), on s'aperçoit bien vite qu'il présentent un parallélisme presque parfait. Cela résulte du fait ci-dessus indiqué que l'alcalinité des carbonates (le carbonate de chaux) présente 95.8—96.2% de l'alcalinité titrée et l'alcalinité des borates ne présente qu'une partie peu importante (3.8—4.2%). C'est à raison de ce fait

que l'alcalinité spécifique montre un cours annuel plus ou moins parallèle à celui de la teneur relative en carbonate de chaux. A cause de ce parallélisme, dans la discussion ultérieure, nous n'envisagerons que celle-ci et les causes dont elle est déterminée.

Nous avons vu que la teneur relative en carbonate de chaux varie suivant la saison et la profondeur. Les minima apparaissent

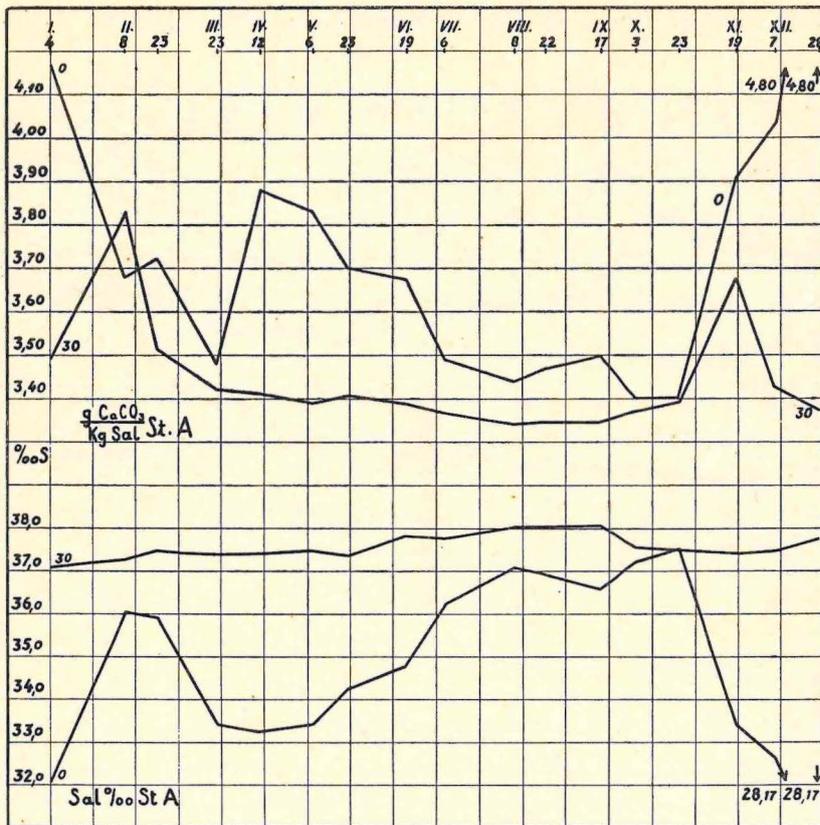


Fig. 11 Rapports entre la teneur relative en carbonate de chaux et la salinité à la station A.

vers la fin de l'été et dans les couches près du fond, les maxima en hiver et à la surface. Ainsi, par exemple, à la station A, le 28 décembre, on a trouvé dans un kilogramme de sel 4,10 grammes de carbonate de chaux en moyenne; tandis que le 3 octobre on n'a trouvé que 3,39 grs en moyenne. La même station présente, dans la couche de surface, 3,74 grs de carbonate de chaux (en moyenne) tandis que, près du fond elle ne présente que 3,44 grs de carbonate

de chaux par kilogramme de sel (en moyenne). Quelle est la raison de cette répartition inégale du carbonate de chaux au cours de l'année et dans les couches diverses de l'eau? La réponse se présente de soi si nous envisageons le graphique de la teneur en carbonate de chaux et celui en salinité dans les stations *A* et *D* (voir les figures 11 et 12). Le cours annuel de ces graphiques démontre un parallélisme inverse: plus la salinité baisse, plus sa teneur relative en carbonate de chaux s'élève, et viceversa. Ce cours inverse de la

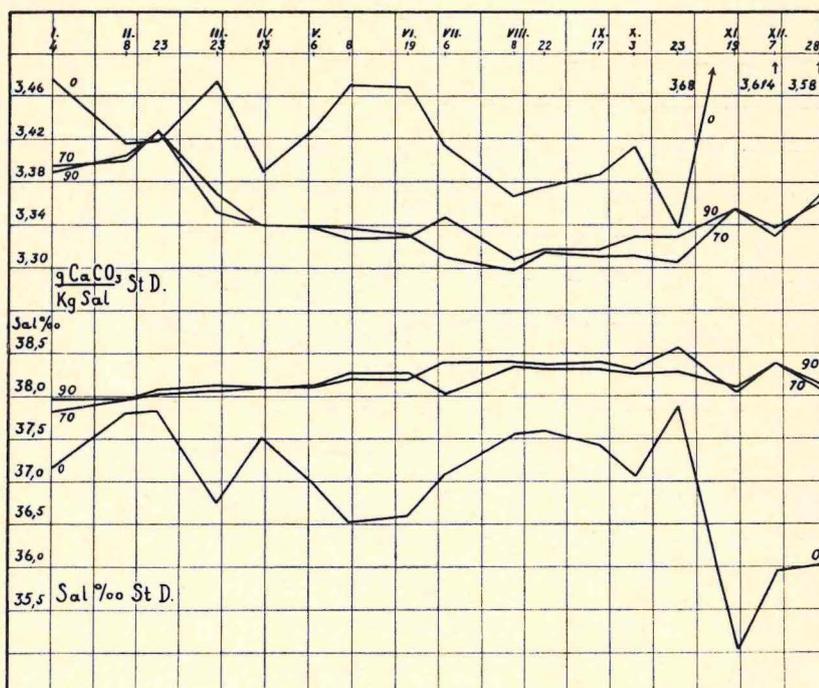


Fig. 12 Rapports entre la teneur relative en carbonate de chaux et la salinité à la station D.

salinité et de la teneur relative en carbonate de chaux se manifeste aussi dans toute la hauteur d'eau étudiée (voir la figure 13). Pendant que la salinité moyenne, à la station *D*, s'accroît à partir de la surface jusqu'à 70 mètres de profondeur, et alors diminue, la teneur relative en carbonate de chaux diminue à partir de la surface jusqu'à la même couche (de 70 ms) pour s'élever alors un peu vers le fond. Donc, aussi bien dans le cours annuel que dans la répartition verticale on peut constater la même régularité d'après laquelle

la teneur relative en carbonate de chaux s'élève avec la salinité baissante, et viceversa. Ou, autrement dit, une couche d'eau de mer étudiée a d'autant plus de carbonate de chaux pour mille, que sa salinité est moindre.

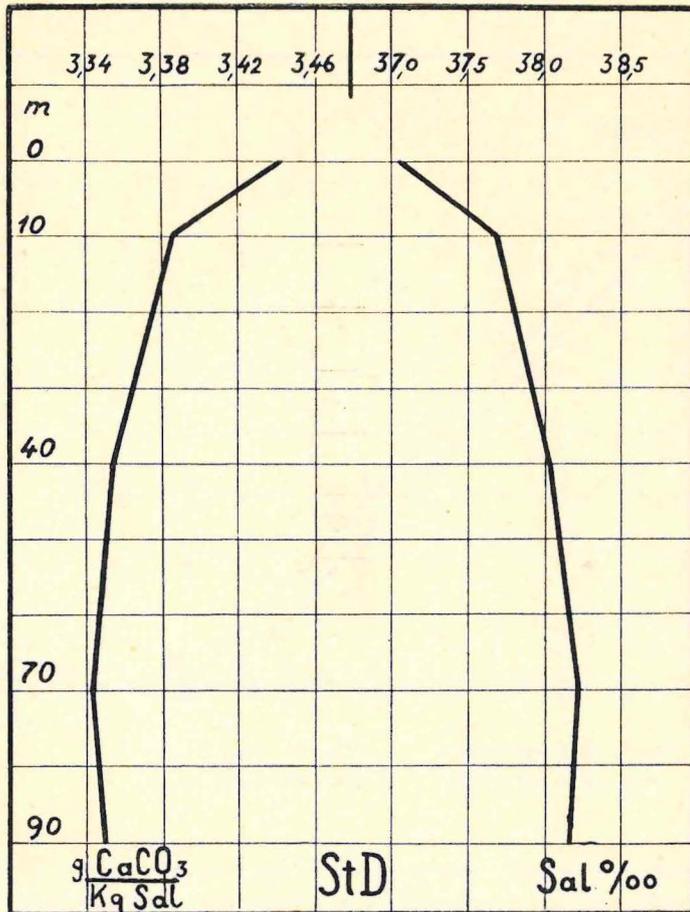


Fig. 13 Rapports entre la répartition verticale de la teneur relative en carbonate de chaux et la salinité (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

Il existe donc, au point de vue qualitatif, entre la salinité et la teneur relative en carbonate de chaux une proportion inverse. Mais quelle est cette proportion au point de vue quantitatif? Est-ce qu'on pourrait déterminer, pour les eaux étudiées, l'ordre de grandeur de cette proportion de façon que la connaissance de la salinité nous rendrait possible l'évaluation de la teneur relative en carbonate de

chaux, et viceversa? Pour pouvoir donner quelque réponse à cette question on a employé le système de coordonnées (voir la fig. 14). L'ordonnée présente les valeurs moyennes annuelles de la salinité, et l'abscisse présente les valeurs moyennes de la teneur relative en carbonate de chaux. Quant à la station A, on a pris les valeurs

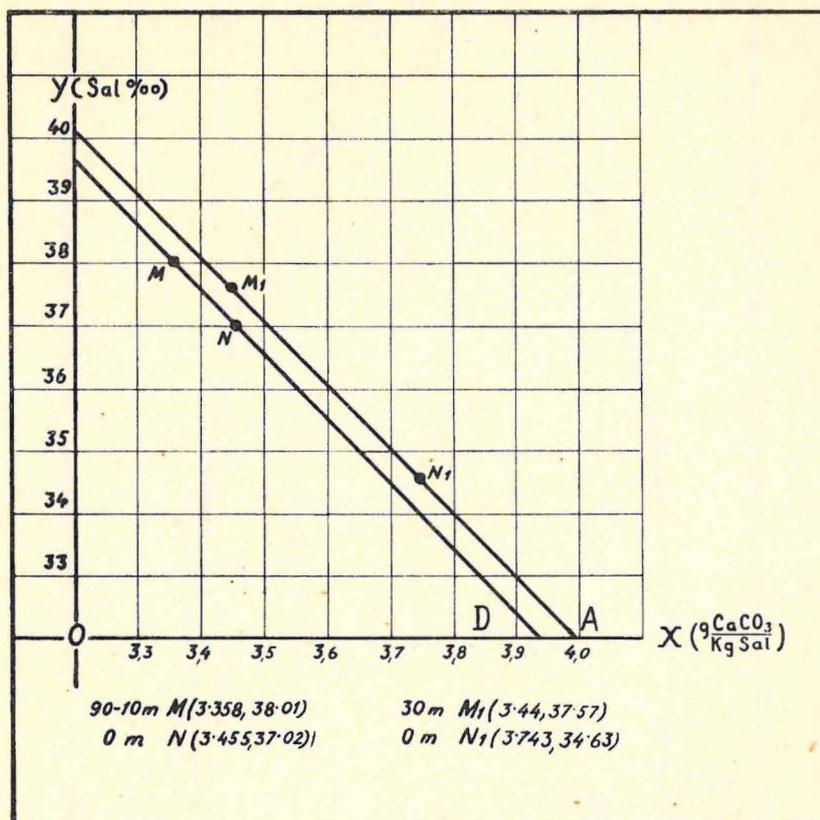


Fig. 14 Rapports entre la teneur relative en carbonate de chaux et la salinité aux stations A et D.

moyennes de la surface (sal. 34,63;  $\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg Sal}} = 3,743$ ) et celles de la couche de trente mètres (sal. = 37,57 ‰;  $\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg sal}} = 3,44$ ); pour la station D on a pris les valeurs de la surface (sal. = 37,02;  $\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg sal}} = 3,455$ ) et celles de la moyenne des couches plus

profondes (10—90 mètres; sal. = 38,01;  $\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg sal}} = 3,358$ ). De cette façon on a obtenu, dans ce système de coordonnées, deux lignes presque parallèles: la ligne *A* pour la station *A*, et la ligne *D* pour la station *D*. Les lignes sont déterminées par les équations: la ligne *A* par l'équation  $10,5 x + y = 73,69$  et la ligne *D* par l'équation  $11 x + y = 74,97$ . Ces équations qui résultent des données obtenues par de mesures directes, montrent la relation quantitative existant entre la salinité et la teneur en calcaire dans les eaux étudiées. Comme ces équations ne résultent que de données obtenues par expérience, elles n'ont pas une valeur absolue; mais puisque elles se basent sur un nombre relativement élevé de mesures, elles nous aident à trouver les teneurs rapprochées en calcaire dissous, dans les eaux de nos côtes, si nous connaissons leur salinité.

Il existe donc, dans nos eaux côtières, entre la salinité et la teneur relative en carbonate de chaux, un parallélisme, qui est, qualitativement, inverse, et, quantitativement, il est exprimé par les équations ci-dessus citées. Pour comprendre les causes de ce parallélisme inverse et régulier, il faut envisager que les eaux étudiées présentent, en réalité, un mélange de l'eau méditerranéenne-océanique et de l'eau douce affluant de terre. Mais cet eau douce ne se jette dans la mer que après avoir traversé de grandes étendues de terre riche surtout en calcaire, qu'elles dissolvent en grande quantité et l'apportent dans la mer sous forme de bicarbonate de chaux. Si ces eaux qui se jettent dans la mer ne contenaient pas de calcaire dissous, la teneur relative en carbonate de chaux diminuerait avec la diminution de la salinité et viceversa. Mais comme ces eaux sont de beaucoup plus riches en calcaire que ne le sont en chlorides, la teneur relative en carbonate de chaux, dans la mer, est d'autant plus grande, que la mer contient plus d'eau douce, c'est, donc, que la teneur relative en carbonate de chaux s'élève avec la salinité baissante. Il en, donc, résulte que les apports d'eau douce exercent sur la teneur relative en carbonate de chaux une influence considérable, ce qui a pour effet que la salinité dans les eaux étudiées ne suit pas exactement la formule de *K n u d s e n*, mais elle est, par rapport à cette formule, d'autant plus grande, que la salinité est plus basse.

### Les causes de variations de la teneur absolue en carbonates de chaux

Après avoir étudié les causes de variations de la teneur relative en carbonate de chaux il nous reste à étudier les causes de variations de la teneur absolue en calcaire dissous dans les eaux étudiées. En ce qui concerne le cours annuel, on a déjà montré que la courbe de la teneur en calcaire dissous présente un maximum hivernal et un minimum estival. Les maxima (en moyenne) ont été rencontrés en février et les minima (en moyenne) en août (à la station *D*) ou en octobre (à la station *A*). Quelle est la cause de ce cours du calcaire dans les eaux étudiées? Avant de donner une réponse il sera utile de faire remarquer que l'afflux d'eau douce de terre produit sur l'eau de mer une double action. Avant tout, l'eau douce diminue la concentration en totalité des sels, parce que celle-ci est plus grande dans l'eau de mer que dans l'eau douce. D'autre part, l'apport d'eau douce augmente, dans l'eau de mer, la concentration en ceux sels dont la concentration est plus grande dans l'eau douce que dans l'eau de mer. En ce qui concerne le carbonate de chaux, si l'eau douce en contenait en concentration égale à celle de l'eau de mer, elle ne produirait dans l'eau de mer ni l'augmentation ni la diminution de concentration en ce sel, et la teneur absolue en carbonate de chaux resterait la même à toute salinité. Si l'eau douce contenait une quantité de calcaire inférieure à celle qu'on trouve dans l'eau de mer, l'abaissement de salinité produirait, en même temps, l'abaissement de la teneur absolue en calcaire. Au contraire, si l'eau douce contenait une teneur en calcaire supérieure à celle de l'eau de mer, l'abaissement de salinité coïnciderait avec l'augmentation de la teneur en carbonate de chaux. A ce point de vue, comment les choses se comportent-elles dans les eaux étudiées? Si nous mettons en parallèle la teneur absolue moyenne en calcaire dissous, et celle en salinité moyenne (voir la figure 15), nous pouvons remarquer, dans les grandes lignes, un cours annuel inverse. Les teneurs en calcaire plus basses en été coïncident, plus ou moins, avec les teneurs en salinité plus élevées, et les teneurs en calcaire plus élevées, en automne et en hiver, montrent un parallélisme avec les teneurs en salinité plus basses. Ce phénomène peut être considéré comme une règle, bien qu'il y ait des cas où ce parallélisme inverse ne se manifeste pas nettement, fait aisément explicable si l'on tient compte de nombreux agents qui y peuvent intervenir.

Mais, en jugeant d'après tout, il paraît évident que l'augmentation de calcaire dissous, dans les eaux étudiées, soit en relation causale avec la diminution de salinité de même que la baisse de la teneur absolue en calcaire soit en même relation causale avec l'augmentation de salinité. Cette relation causale nous devient claire si l'on se rappelle le fait cidessus ramené que l'eau de mer étudiée présente un mélange de l'eau méditerranéenne-océanique et de l'eau douce affluant de terre et qu'on suppose, de plus, que celle-ci contient une teneur en calcaire dissous supérieure à la teneur de

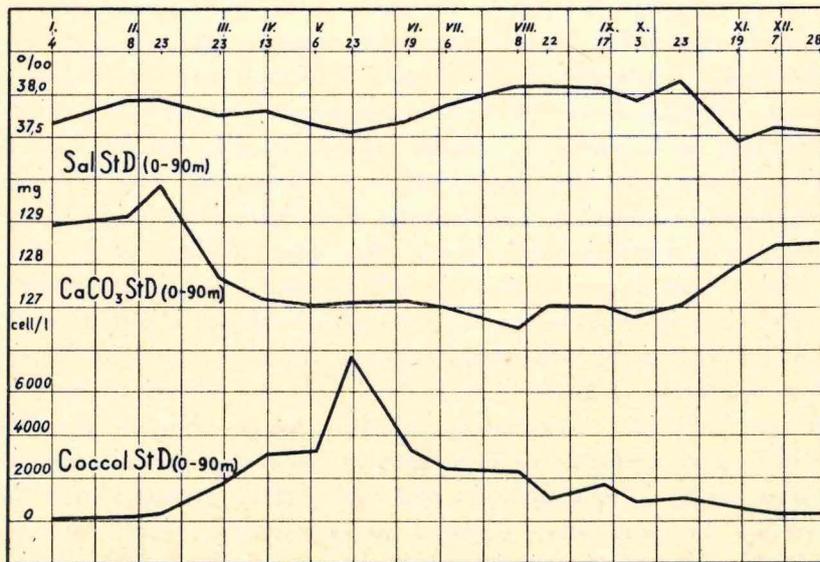


Fig. 15 Rapports entre la salinité, la teneur en carbonate de chaux et la production phytoplanctonique (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

celle-là. En raison de son abondance en calcaire dissous, l'eau douce, qui afflue de terre, augmente la teneur de l'eau de mer en carbonate de chaux en proportion d'autant plus grande qu'elle fait baisser la salinité de la même eau. Nous sommes amenés à la même conclusion si nous nous rendons compte du parallélisme qui existe entre la courbe de la teneur relative et celle de la teneur absolue moyenne en carbonate de chaux. Ce parallélisme direct nous amène à la conclusion que c'est la même cause qui régle leur cours annuel: la salinité ou bien les apports d'eau douce dont la teneur en calcaire dissous doit être supérieure à celle de l'eau de mer.

On peut demander si le plancton exerce quelque influence sur le cours annuel de la teneur absolue en calcaire dissous. En ce qui concerne le plancton végétal, ce sont, surtout, les coccolithophorides qui y entrent en ligne de compte, parce que les capsules de ces plantules sont construites en calcaire. L'étude sur la production quantitative de ces organismes qu'on a poursuivie parallèlement à l'étude sur l'alcalinité, nous a montré le maximum de développement de ce genre de plancton au printemps et au début de l'été, donc dans le même temps où nous rencontrons une forte baisse de la teneur en calcaire dissous. Mais si nous mettons en parallèle la courbe annuelle du calcaire dissous et celle de la production de coccolithophorides (voir le graphique dans la fig. 15) nous n'y pouvons pas constater, apparemment, de relations causales évidentes. Cela s'explique de soi si l'on tient compte du fait que les variations annuelles de la teneur en calcaire dissous, causées par les apports d'eau douce, sont bien considérables en proportion avec le développement maximal de ces plantules dont l'action sur l'abondante quantité de calcaire paraît devoir être assez modeste et à peine visible. Mais il semble, tout de même, qu'il y est à reconnaître, même dans le cours annuel de la teneur en calcaire à la station *D*, une influence de ces organismes calcaires. Ainsi, par exemple, d'après les explications ci-dessus, à cause d'une chute de salinité au mois de mai et le 19 juin, la teneur en calcaire devrait montrer une élévation. Cette élévation ne se produit pas, mais il se produit, dans le même temps, le maximum du plancton végétal, consommateur du calcaire. On peut, donc, supposer que ce plancton végétal ait consommé une partie de calcaire dissous, qui se manifesterait, sans cela, par une élévation plus marquée de la courbe qui le présente au mois de mai et de juin.

En ce qui concerne la répartition verticale de la teneur en calcaire dans les diverses couches d'eau (voir la figure 16), nous avons vu que la quantité de calcaire, à la station *A*, augmente vers la surface, et à la station *D*, elle augmente à partir de la couche de dix mètres vers la surface et vers le fond de façon que le minimum se trouve dans le niveau de dix mètres, et le maximum près du fond. Comment expliquer cette répartition annuelle dans les couches diverses? A la station *A*, la quantité s'accroît vers la surface par la même raison que nous avons ammenée en expliquant le cours annuel de la teneur en calcaire. C'est la salinité qu'y est responsable. Plus la salinité baisse vers la surface, plus l'eau de mer contient d'eau

douce, et — à supposer que l'eau douce soit plus riche en calcaire — plus l'eau de mer contient de calcaire. Mais à la station *D*, les conditions sont plus compliquées. Comment expliquer ici le minimum intermédiaire, qui se trouve à dix mètres de profondeur? Avant d'essayer de donner une explication, il sera utile de faire remarquer

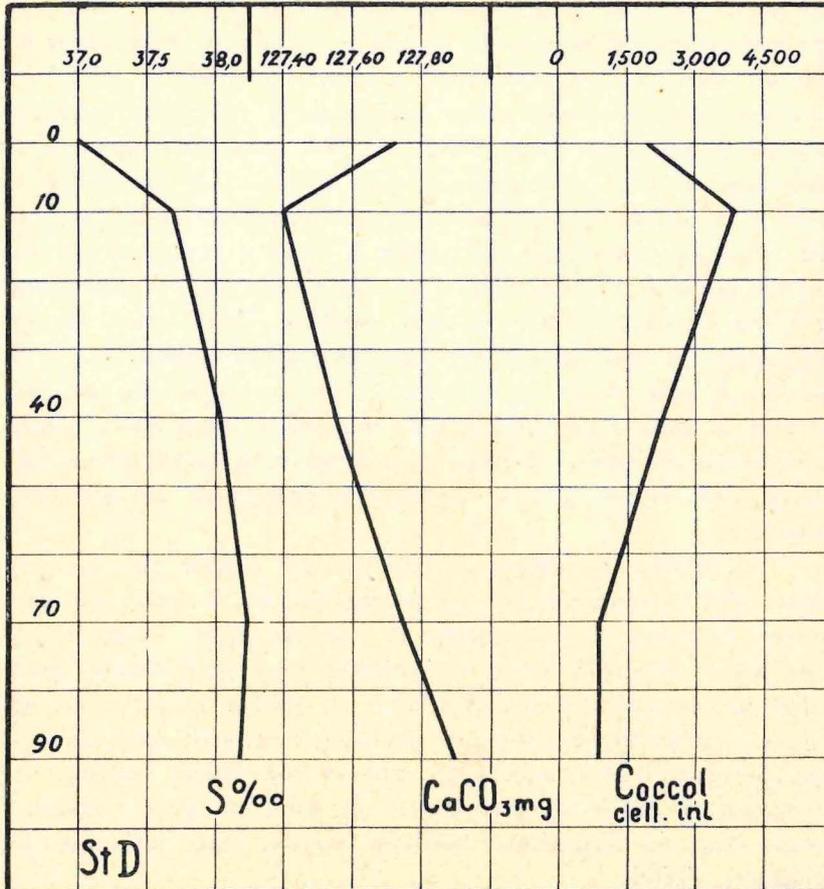


Fig. 16 Rapports entre la répartition verticale de la salinité, du carbonate de chaux et des coccolithophorides (valeurs moyennes annuelles) à la station *D*.

que les variations moyennes de la répartition verticale sont peu considérables. Pendant que la salinité moyenne varie, dans toute la hauteur d'eau, de 1,17‰, la teneur en calcaire ne varie que de 0,45 mlgs. Ce fait, à lui seul, serait capable à nous faire admettre qu'il doit exister un facteur agissant sur la diminution de calcaire dans les couches où il devrait abonder le plus.

A supposer que la teneur en calcaire dans les eaux étudiées, doive montrer un parallélisme inverse à la teneur en salinité, une augmentation de la teneur en calcaire devrait se manifester à partir de 70 mètres de profondeur vers la surface et vers le fond. Par contre ce n'est que à partir de 10 mètres de profondeur vers la surface et à partir du niveau de 70 mètres vers le fond que la teneur en calcaire se tient inversement à la teneur en salinité. A partir de 70 mètres jusqu'au niveau de 10 mètres, la salinité et la teneur en calcaire montrent un parallélisme direct. On pourrait, peut-être, expliquer cette anomalie si l'on envisageait la répartition verticale des coccolithophorides (voir la fig. 16). Ces organismes montrent le maximum de leur développement dans le niveau de dix mètres et alors à la surface et à 40 mètres de profondeur. En tenant compte de ce fait, je crois n'être pas loin de la vérité si je suppose que ces organismes planctoniques jouent un rôle visible dans la répartition verticale du calcaire dans les eaux étudiées. Que l'action de ces organismes ne se manifeste pas dans les couches supérieures de la station *A*, cela résulte du fait que les couches supérieures de cette station, à cause d'une assez grande proportion d'eau douce, contiennent une quantité de calcaire trop élevée pour qu'elle puisse être visiblement influée par la production printanière de coccolithophorides.

En résumé, la dilution de l'eau de mer étudiée par de l'eau douce agit directement sur l'accroissement de la teneur en carbonate de chaux. Les variations de l'apport d'eau douce et par conséquent les variations de la salinité présentent le facteur principal de variation des teneurs relative et absolue en carbonate de chaux. L'action de l'eau douce se manifeste nettement non seulement dans le cours annuel mais aussi dans la répartition verticale du carbonate de chaux. A la station *D*, de plus, on peut remarquer aussi, dans la répartition verticale surtout, une influence du plancton végétal.

#### Les causes des variations de la teneur en borates

Nous avons vu que le cours annuel et la répartition verticale de la teneur en borates présentent une allure à peu près inverse à celle de la teneur en carbonates. A quoi, donc, tiennent le maximum estival et le minimum hivernal de la teneur en borates? La mise en parallèle de la concentration en borates et du pH montre qu'une relation étroite existe entre ces deux genres de

facteurs (voir la fig. 17). Si nous tenons compte du fait que la concentration en ion H présente une allure inverse au pH, c'est à dire à son logarithme négatif, nous voyons une proportion inverse entre la concentration en ion H et la teneur en borates. L'accroissement de la concentration en ion hydrogène agit sur l'abaissement de la teneur en borates, et viceversa. La même relation se rencontre dans la répartition verticale des borates et du pH. Ce sont, donc, la diminution ou bien l'accroissement de la concentration en ion H qui sont responsables pour l'accroissement ou bien la diminution de la teneur en borates. Il en résulte que les mêmes facteurs qui agissent sur le pH, agissent de même sur la teneur en borates. Quant à ces facteurs, nous en parlerons dans le chapitre suivant.

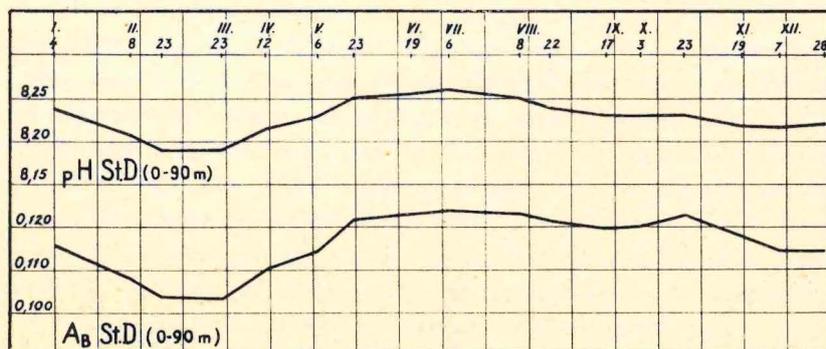


Fig. 17 Rapports entre le pH et l'alcalinité des borates (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

## DEUXIÈME PARTIE

### Recherches sur l'équilibre de l'acide carbonique

#### Préliminaires

L'anhydride carbonique contenu dans l'air se dissout dans l'eau de mer selon la loi de H e n r y suivant laquelle le rapport de la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'air et de la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'eau demeure constant.

L'anhydride carbonique dissous dans l'eau de mer s'y hydrate pour donner de l'acide carbonique qui se dissocie en ions  $\text{H}^+$  et  $\text{HCO}_3^-$  suivant l'équation

$$(1) \quad \frac{(H') \cdot (HCO')}{CO_2 \cdot H_2O} = K_1$$

L'ion  $HCO_3'$  se dissocie à son tour en ions  $H'$  et  $CO_3''$

$$(2) \quad \frac{(H') \cdot (CO_3'')}{(HCO_3')} = K_2$$

De cette façon la mer contient des ions  $H'$ ,  $HCO_3'$ ,  $CO_3''$  et des molécules  $H_2O$ ,  $CO_2$  et  $H_2CO_3$ . Tous ces ions et ces molécules forment un certain équilibre, l'équilibre de l'acide carbonique, qui est déterminé par les constantes  $K_1$  et  $K_2$ . Les constantes, elles mêmes, varient suivant la température et la salinité.

La totalité des ions  $x$  s'appelle aussi la concentration totale ( $c$ ) de l'ion  $x$ .

Bien qu'on puisse supposer une dissociation complète de l'acide carbonique en ions, ce n'est que dans de solutions infiniment diluées et en absence de sels neutres que tous les ions sont actifs, c'est à dire obéissent à la loi d'action de masses et interviennent dans de réactions chimiques. Dans l'eau à concentration plus élevée et en présence de sels neutres — comme c'est le cas dans l'eau de mer — une partie des ions, par l'action réciproque électrostatique — est réduite à l'état d'inactivité et n'intervient pas dans des processus chimiques. Par conséquent, une seule partie des ions est active et cette partie forme la concentration active ( $a$ ) de l'ion  $x$ .

Le rapport de la concentration active ( $a$ ) et de la concentration totale ( $c$ ) de l'ion  $x$   $\left(\frac{a_x}{c_x}\right)$  présente le coefficient d'activité de l'ion  $x$  ( $f_x$ ). En tenant compte de ce coefficient d'activité, on obtient la concentration active de l'ion  $x$  en multipliant sa concentration totale par son coefficient d'activité

$$a_x = c_x \cdot f_x$$

Si l'on remplace, dans les équations précédentes 1 et 2 la concentration totale de différents ions par leurs concentrations actives et qu'on exprime les concentrations actives des ions  $HCO_3'$  et  $CO_3''$  par les produits des leurs concentrations totales et leurs coefficients d'activité, on obtient les équations suivantes:

$$\frac{aH \cdot cHCO_3' \cdot fHCO_3'}{aCO_2 \cdot aH_2O} = K_1$$

et

$$\frac{aH \cdot cCO_3'' \cdot fCO_3''}{cHCO_3' \cdot f_1HCO_3'} = K_2$$

Ces équations peuvent être exprimées aussi de la manière suivante :

$$\frac{aH \cdot cHCO_3'}{aCO_2 \cdot aH_2O} = \frac{K_1}{fHCO_3'} = K_1'$$

$$\frac{aH \cdot cCO_3''}{cHCO_3'} = \frac{fHCO_3'' \cdot K_2}{f_1CO_3''} = K_2'$$

$K_1'$  et  $K_2'$  présentent les constantes «apparentes» de dissociation de l'acide carbonique et puisqu'elles tiennent compte de l'activité des ions  $HCO_3'$  et  $CO_3''$ , elles dépendent de la concentration en sels dans l'eau de mer.

Si l'on prend en considération les parties gauches des équations précédentes, on se trouve en présence de variables que l'on peut déterminer d'une manière expérimentale.

L'activité des ions  $H'$  peut être mesurée directement par les méthodes colorimétriques et exprimée en pH-ce qui correspond au logarithme négatif de la concentration de l'ion  $H'$ .

L'activité de  $CO_2$  est proportionnelle à la tension de  $CO_2$  dans l'eau et la tension peut être expérimentalement déterminée au moyen de divers appareils par voie physique.

L'activité de  $H_2O$  peut être évaluée de la tension de la vapeur d'eau. Seule la concentration en ions  $HCO_3'$  et  $CO_3''$  ne peut être déterminée expérimentalement. Cependant la concentration en  $HCO_3'$  et celle en  $CO_3''$  sont contenues dans les formules de l'alcalinité des carbonates ( $A_{CO_2}$ ) et de l'acide carbonique total ( $\Sigma CO_2$ ), et elles en peuvent être évaluées. Comme l'alcalinité des carbonates ( $A_{CO_2}$ ) équivaut à  $2CO_3'' + HCO_3'$  et l'acide carbonique total à  $HCO_3'' + CO_2''$ , il en résulte que  $cHCO_3' = 2\Sigma CO_2 - A_{CO_2}$ , et  $cCO_3'' = A_{CO_2} - \Sigma CO_2$ . L'alcalinité des carbonates peut être déduite de l'alcalinité totale, et l'acide carbonique total peut être directement mesuré par voie physique. De cette façon l'alcalinité des carbonates et la teneur en acide carbonique total nous rendent possible l'évaluation des concentrations en ions  $HCO_3'$  et  $CO_3''$ .

Nous pouvons, donc, déterminer le pH, la tension de  $CO_2$ , la solubilité de  $CO_2$  à différentes températures et salinités, l'alcalinité et la teneur en acide carbonique total, et la connaissance de ces variables nous permet de connaître tous les facteurs intervenant dans l'équilibre de l'acide carbonique. Mais pendant que la déter-

mination du pH et de l'alcalinité est assez facile à exécuter, les mesures directes de la tension de  $\text{CO}_2$  et de la teneur en acide carbonique total nécessitent des méthodes qui sont trop lentes et trop délicates pour devenir des méthodes courantes des laboratoires maritimes. Cependant ces méthodes nous rendent possible, selon les équations ci — haut citées, l'évaluation des constantes apparentes de dissociation et la connaissance de ces constantes, accompagnée de la connaissance de quelques autres facteurs océanographiques (salinité, température), rend possible l'évaluation de toutes les composantes de l'équilibre de l'acide carbonique. C'est pour cette raison qu'on s'est donnée beaucoup d'effort, dans ce dernier temps, pour déterminer les constantes apparentes de dissociation à différentes températures et salinités. Après de nombreux travaux des chimistes océanographes, surtout ceux de Bouch, Harvey et Watterberg, on est parvenu à la connaissance des constantes de dissociation et, en général, de l'équilibre de l'acide carbonique. Par suite de ce fait, il suffit actuellement de déterminer la température et la salinité, de connaître le pH et l'alcalinité des carbonates pour avoir tous les éléments de l'équilibre des carbonates et de l'acide carbonique dans l'eau de mer, c'est à dire la tension et la concentration de  $\text{CO}_2$ , la concentration en ions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{--}$  et la teneur en acide carbonique total.

Pour connaître, donc, les conditions de l'équilibre de l'acide carbonique dans les eaux étudiées, nous avons déterminé la température, la salinité, l'alcalinité et le pH. Quant à la détermination de celui-ci, nous avons suivi la méthode colorimétrique de McCleendon. Nous avons employé les tubes à essai de 25 mms de diamètre et comme indicateurs nous avons employé le bleu de thymol et le bleu de xylenol. En ce qui concerne les corrections concernant la salinité, la température et l'indicateur, nous avons envisagé, surtout, les expériences de Bouch. Quant à l'évaluation de différents composantes de l'acide carbonique, nous avons profité des graphiques et de tableaux donnés par Bouch, Harvey, Watterberg et Grinpeberg (1932) et revus récemment par Bouch (1933).

#### La concentration en ion hydrogène (le pH)

Les graphiques de la figure 18 présentent le cours du pH dans les stations A et D. Au commencement de nos observations, le 4 janvier, le pH se tient, à la station A, entre 8,24 (à la surface)

et 8,20 (à 30 mètres). Pendant le mois de février les teneurs en pH sont encore plus basses, et on rencontre, le 23 février, le minimum annuel qui est de 8,20 à 30 mètres de profondeur, et de 8,18 à la surface. A partir de ce temps il se produit une légère élévation du pH, d'abord à la surface seulement, plus tard aussi dans l'eau plus profonde. Le maximum se rencontre le 23 mai. Celui-ci varie de 8,29 (à la surface) à 8,25 (à 30 mètres de profondeur). Dans les mois suivants le pH montre une chute. Celle-ci est plus ou moins constante, bien que peu considérable. Si l'on excepte une petite élévation qui se produit au mois de décembre, la chute se poursuit jusqu'à la fin de l'année.

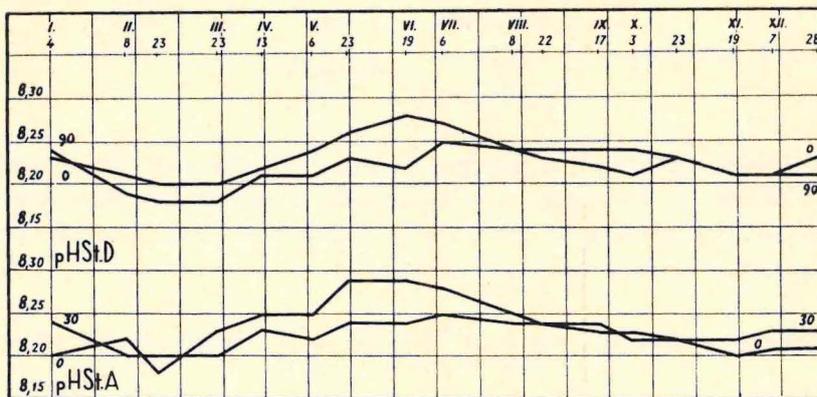


Fig. 18 Cours annuel du pH aux station D et A.

A la station *D*, le pH se comporte d'une manière parfaitement analogue. La chute du pH, qui se rencontre pendant l'été, l'automne et l'hiver, est suivie d'un accroissement qui se manifeste surtout au printemps. Le minimum se produit le 23 février. Il se tient entre 8,18 (à 90 mètres de profondeur) et 8,20 (à la surface). Le maximum se rencontre à la surface, le 19 juin (8,28) et dans le niveau de 90 mètres le 6 juillet (8,25). La chute du pH, qui commence au mois de juin, se poursuit jusqu'à la fin de l'année, et elle n'est interrompue que par une élévation légère, dans certaines couches, au mois de décembre.

La mise en parallèle de l'accroissement et de la chute du pH dans les stations *A* et *D* présente, dans leur cours, une différence remarquable. Pendant que la chute est faible, l'accroissement est plus accentué et plus brusque de façon que l'eau étudiée, par rapport au

pH, perd en huit ou bien en sept mois ce qu'elle a mis à acquérir en quatre ou bien en cinq mois.

L'amplitude des oscillations annuelles, dans les diverses couches d'eau, est peu considérable. A la station *A*, les oscillations sont assez plus grandes à la surface que dans la couche de 30 mètres (voir le tab. 13). A la surface, l'amplitude de variations

Tableau 13. Chiffres extrêmes et oscillation de la concentration en pH de l'eau de mer à la st. A

eau de surface	{ maximum	8,29	le 25 mai
	{ minimum	<u>8,18</u>	le 23 février
	{ oscillation	0,11	
eau à 30 mètres	{ maximum	8,25	le 6 juillet
	{ minimum	<u>8,20</u>	le 23 février
	{ oscillation	0,05	

annuelles est de 0,11, tandis que, près du fond, elle n'est que de 0,05 seulement. A la station *D* l'amplitude d'oscillations est encore moindre. Elle varie de 0,08 (en surface) à 0,06 (dans la couche de 40 mètres (voir le tab. 14).

Tableau 14. Chiffres extrêmes et oscillation de la concentration en pH de l'eau de mer à la st. D

eau de surface	{ maximum	8,28	le 19 juin
	{ minimum	<u>8,20</u>	le 23 février, 23 mars
	{ oscillation	0,08	
eau à 10 mètres	{ maximum	8,27	le 19 juin
	{ minimum	<u>8,20</u>	le 23 février, 23 mars
	{ oscillation	0,07	
eau à 40 mètres	{ maximum	8,26	le 23 mai
	{ minimum	<u>8,20</u>	le 23 février, 23 mars
	{ oscillation	0,06	
eau à 70 mètres	{ maximum	8,25	le 19 juin
	{ minimum	<u>8,18</u>	le 23 mars
	{ oscillation	0,07	
eau à 90 mètres	{ maximum	8,25	le 6 juillet
	{ minimum	<u>8,18</u>	le 23 février
	{ oscillation	0,07	

En ce qui concerne la répartition du pH dans les diverses couches d'eau, elle démontre, très souvent, une faible stratification qui n'est pas la même au cours de l'année entière. A la station *A*, le pH est dans les mois d'hiver (à partir du novembre jusqu'à la fin du février) d'habitude un peu plus bas à la surface que près du fond. Dans les mois d'été, il est un peu plus élevé à la surface. Son gradient est un peu plus considérable pendant le printemps. Le 25 mai et le 19 juin il est de 0,05. Pendant le reste de l'année, il n'est d'aucune importance remarquable. A la station *D*, à l'exception de quelques cas en hiver, le pH diminue un peu avec les couches plus profondes pendant toute l'année. Les gradients sont un peu plus marqués au mois de juin quand la teneur en pH est, à la surface, de 8,28, et dans le niveau de 90 mètres, de 8,22. Pendant le reste de l'année, le gradient du pH ne dépasse pas 0,03.

En résumé, le pH de l'eau de mer étudiée, présente des variations en relation avec la saison et la profondeur. Il baisse à partir de l'été jusqu'à la fin de l'hiver; il augmente au printemps et au début de l'été. Dans les eaux plus éloignées de la côte, il diminue un peu avec les couches plus profondes pendant toute l'année, exceptées quelques fois en hiver; au contraire, à la station *A*, plus rapprochée de la côte, le pH, en hiver, diminue un peu vers la surface. Les variations saisonnières du pH de même que les gradients entre les diverses couches d'eau sont peu considérables ou bien ils sont tout à fait insignifiants. Les variations se tiennent entre 8,29—8,18 (à la station *A*) et entre 8,28—8,18 (à la station *D*).

#### La tension de l'acide carbonique ( $p\text{CO}_2$ )

Les graphiques qui présentent la tension de  $\text{CO}_2$  dans les eaux étudiées, montre un cours à peu près inverse à celui du pH (voir la fig. 19).

Au début de l'année, la tension varie, à la station *A*, de 2,88 (à 30 mètres de profondeur) à 3,38 (à la surface). Au mois de février il se produit une élévation considérable de façon qu'on rencontre, pendant le mois de février, le maximum de tension dans toute la hauteur d'eau. Le maximum se tient entre 3,40 (à 30 mètres, le 8 février) et 3,36 (à la surface, le 23 février). Dans les mois suivants, la tension baisse, surtout à la surface. Le minimum se rencontre, à surface, le 23 mai, et dans la couche de 30 mètres, le 6 juillet. Il se tient entre 2,44 (à la surface) et 2,73 (près du fond).

Dans les mois qui suivent il commence à se produire une élévation qui se poursuit, dans toutes les couches, jusqu'au début du décembre.

La tension de  $\text{CO}_2$ , à la station *D*, montre un cours tout à fait analogue à celui de la station *A*. La chute printanière de la tension est suivie d'une élévation qui se rencontre au début de l'été et ne cesse pas à se poursuivre jusqu'au commencement de printemps suivant. Le maximum de tension à la surface se rencontre, déjà, le 19 novembre, mais dans les couches inférieures il ne se produit pas avant le mois de février. Il se tient entre 3,31 (à 90 et 70 mètres)

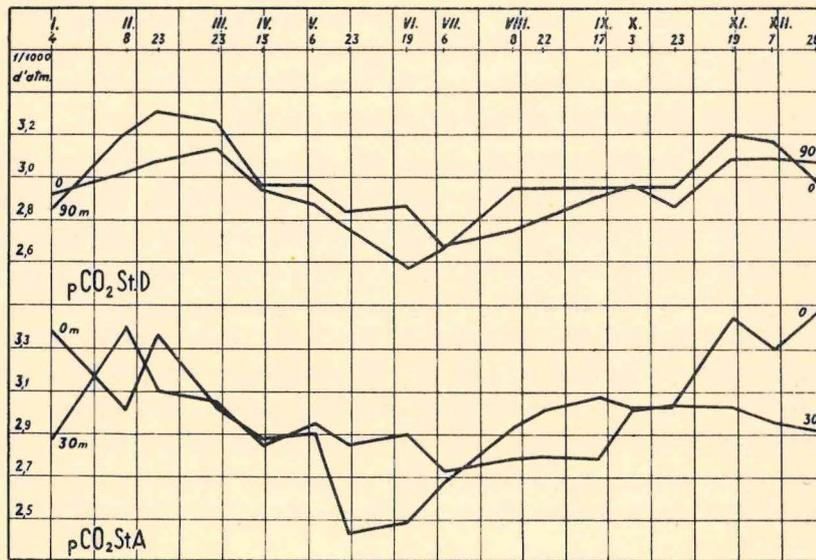


Fig. 19 Cours annuel de la tension du gaz carbonique aux station D et A.

et 3,07 (dans les autres couches). Le minimum se rencontre vers la fin du printemps ou dans la première moitié d'été, entre 19 juin et 8 août. Il varie de 2,70 (à 70 mètres) et 2,57 (à la surface.).

En ce qui concerne les oscillations extrêmes, elles varient avec la station et la profondeur. A la station *A* (voir le tableau 15) les oscillations deviennent moindres avec les couches plus profondes. La couche de surface, avec son maximum de 3,48 (le 28 décembre) et le minimum de 2,44 (le 23 mai) montre une amplitude d'oscillation annuelle de 1,04. La couche de 30 mètres, avec son maximum de 3,40 (le 18 février) et le minimum de 2,73 (le 6 juillet) présente une oscillation de 0,67.

Tableau 15. Chiffres extrêmes et oscillation de la tension de l'acide carbonique ( $p\text{CO}_2$  en 1/10000 d'atmosph.) dans l'eau de mer à la st. A

eau de surface	maximum	3,485	le 28 décembre
	minimum	<u>2,441</u>	le 25 mai
	oscillation	1,044	
eau à 30 mètres	maximum	3,404	le 8 février
	minimum	<u>2,734</u>	le 6 juillet
	oscillation	0,670	

A la station *D* (voir le tab. 16) l'amplitude d'oscillations annuelles s'accroît vers la surface et vers le fond; elle est moindre dans les couches intermédiaires. Ainsi, les couches de 0, 70 et 90 mètres montrent des oscillations de 0,61 à 0,63; et les couches de 10 et 40 mètres ne montrent qu'une oscillation de 0,41.

La tension de  $\text{CO}_2$  varie aussi avec la profondeur. Quant à la station *A*, on n'y peut remarquer une régularité constante. La tension est, parfois, plus grande à la surface, parfois elle l'est près du fond. A la station *D*, la tension est d'habitude la moindre dans une des couches intermédiaires, vers la surface et vers le fond, le plus souvent, elle augmente un peu. Le minimum se trouve dans la

Tableau 16. Chiffres extrêmes et oscillation de la tension de l'acide carbonique ( $p\text{CO}_2$  en 1/10000 d'atmosph.) dans l'eau de mer à la st. D

eau de surface	maximum	3,205	le 19 novembre
	minimum	<u>2,574</u>	le 19 juin
	oscillation	0,631	
eau à 10 mètres	maximum	3,070	le 23 février
	minimum	<u>2,656</u>	le 19 juin
	oscillation	0,414	
eau à 40 mètres	maximum	3,08	le 23 février
	minimum	<u>2,67</u>	le 23 mai
	oscillation	0,41	
eau à 70 mètres	maximum	3,310	le 23 février
	minimum	<u>2,698</u>	le 8 août
	oscillation	0,612	
eau à 90 mètres	maximum	3,310	le 23 février
	minimum	<u>2,684</u>	le 6 juillet
	oscillation	0,626	

couche de 10, de 40 ou de 70 mètres. Le minimum moyen annuel se trouve dans la couche de 40 mètres.

En résumé, la tension de l'acide carbonique dans les eaux étudiées montre une chute printanière avec le minimum vers la fin du printemps ou au commencement de l'été, et une élévation qui se poursuit, avec de légères oscillations, pendant l'été, l'automne et l'hiver et qui finit par le maximum en février ou en mars. Les tensions minima se présentent dans une des couches intermédiaires et les maxima à la surface ou bien près du fond (voir le tab. 18).

Tableau 17. Valeurs moyennes annuelles du pH, de la tension de  $\text{CO}_2$ , de l'acide carbonique total, de la teneur en  $\text{HCO}_3'$ ,  $\text{CO}_3''$  et en acide carbonique libre à la station A

Profondeur ms	pH	$p \text{ CO}_2$ $\frac{1}{10000}$ d'atm.	$\Sigma \text{CO}_2$ $\frac{1}{1000}$ de mol	$\text{HCO}_3'$ $\frac{1}{1000}$ de mol	$\text{CO}_3''$ $\frac{1}{1000}$ de mol	$\text{H}_2\text{CO}_3$ $\frac{1}{1000}$ de mol
0	8.23	3.030	2.28	1.95	0.31	0.010
30	8.22	2.947	2.28	1.96	0.30	0.011

Tableau 18. Valeurs moyennes annuelles du pH, de la tension de  $\text{CO}_2$ , de l'acide carbonique total, de la teneur en  $\text{HCO}_3'$ ,  $\text{CO}_3''$  et en acide carbonique libre à la station D

Profondeur ms	pH	$p \text{ CO}_2$ $\frac{1}{10000}$ d'atm.	$\Sigma \text{CO}_2$ $\frac{1}{1000}$ de mol	$\text{HCO}_3'$ $\frac{1}{1000}$ de mol	$\text{CO}_3''$ $\frac{1}{1000}$ de mol	$\text{H}_2\text{CO}_3$ $\frac{1}{1000}$ de mol
0	8.23	2.942	2.24	1.91	0.32	0.010
10	8.23	2.884	2.23	1.91	0.32	0.010
40	8.23	2.868	2.25	1.94	0.30	0.010
70	8.22	2.928	2.26	1.96	0.29	0.011
90	8.21	2.965	2.27	1.97	0.29	0.011

#### L'acide carbonique total ( $\Sigma \text{CO}_2$ )

L'acide carbonique total varie au cours de l'année et dans les diverses couches d'eau.

En ce qui concerne le cours annuel, celui-ci montre, pendant l'automne et l'hiver, une augmentation, et pendant le printemps et l'été, une chute (voir la figure 20).

A la station *A*, la teneur en acide carbonique total est déjà en janvier très élevée. A 30 mètres de profondeur le maximum se rencontre en février (2,56 le 8 février). A partir de ce temps les teneurs baissent dans toute la hauteur d'eau et la chute se poursuit jusqu'à la fin du printemps ou le début de l'été. Le minimum se produit le 23 mai à la surface et le 3 octobre à 30 mètres de profondeur. Il varie de 2,15 (à la surface) à 2,20 (à 30 mètres). Dans les mois suivants les teneurs augmentent, et — exception faite de légères oscillations — l'augmentation se poursuit jusqu'à la fin de l'année. Cette augmentation finit par le maximum qui se produit, à la surface, déjà le 28 décembre (3,46).

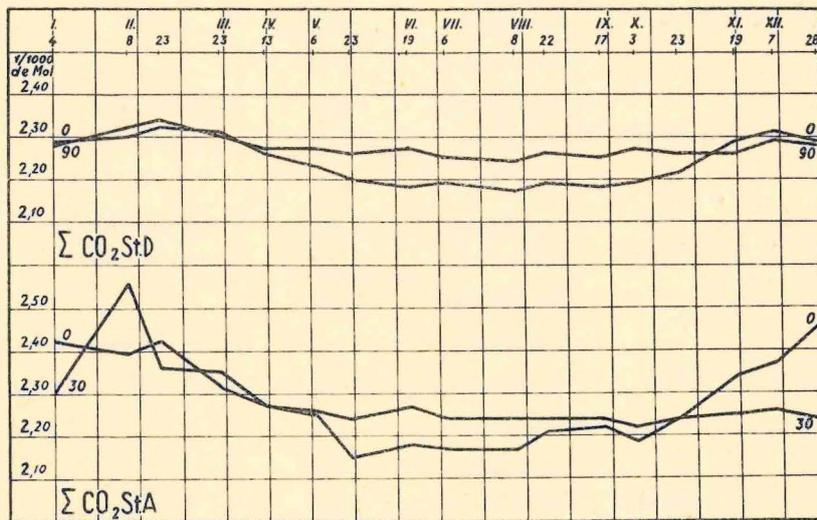


Fig. 20 Cours annuel de la teneur en acide carbonique total aux station D et A.

A la station *D*, le cours annuel de l'acide carbonique total est complètement analogue à celui que nous venons de voir à la station *A*. Le maximum se produit le 23 février. Il varie de 2,34 (à 70 et 90 mètres de profondeur) à 2,32 (à 0—40 mètres). Le minimum s'observe en été, entre 19 juin et 23 octobre. Il augmente avec la profondeur, et varie de 2,17 (le 19 juin à la surface) et 2,24 (à 90 mètres, le 8 août).

L'amplitude des oscillations annuelles est plus grande à la station *A* qu'à la station *D*. A la station *A* elle est de 0,31 (à la surface) ou bien de 0,34 (près du fond). A la station *D*, l'amplitude des variations diminue avec la profondeur, et varie de 0,15 (à la

Tableau 19. Chiffres extrêmes et oscillation de la concentration en acide carbonique total ( $\Sigma\text{CO}_2$  en 1/1000 de Mol) de l'eau de mer à la st. A

eau de surface	{ maximum	2,46	le 28 décembre
	{ minimum	<u>2,15</u>	le 25 mai
	{ oscillation	0,31	
eau à 30 mètres	{ maximum	2,56	le 8 février
	{ minimum	<u>2,22</u>	le 3 octobre
	{ oscillation	0,34	

Tableau 20. Chiffres extrêmes et oscillation de la concentration en acide carbonique total ( $\Sigma\text{CO}_2$  en 1/1000 de Mol) de l'eau de mer à la st. D

eau de surface	{ maximum	2,32	le 23 février
	{ minimum	<u>2,17</u>	le 8 août
	{ oscillation	0,15	
eau à 10 mètres	{ maximum	2,32	le 23 février
	{ minimum	<u>2,18</u>	le 19 juin
	{ oscillation	0,14	
eau à 40 mètres	{ maximum	2,32	le 23 février
	{ minimum	<u>2,21</u>	le 23 octobre
	{ oscillation	0,11	
eau à 70 mètres	{ maximum	2,34	le 23 février
	{ minimum	<u>2,23</u>	le 8 août
	{ oscillation	0,11	
eau à 90 mètres	{ maximum	2,34	le 23 février
	{ minimum	<u>2,24</u>	le 8 août
	{ oscillation	0,10	

surface) à 0,10 (près du fond). Les teneurs en acide carbonique total de la station A se tiennent entre 2,15 (le 23 mai à la surface) et 2,56 (le 28 décembre à 30 mètres); à la station D, elles se tiennent entre 2,17 (le 8 août à la surface) et le 2,34 (le 23 février à 90 mètres).

En ce qui concerne la répartition verticale de l'acide carbonique total, nous allons distinguer la période estivale et la période hivernale. A la station A, pendant la période d'été, à partir du mois de mars jusqu'au mois d'octobre, les teneurs s'élèvent avec la profondeur. Pendant la période d'hiver les teneurs augmentent vers la surface. A la station D, pendant les mois d'hiver (à partir du no-

vembre jusqu'au mars), le minimum se tient dans la couche de 10 ou dans celle de 40 mètres. A partir de ce niveau, les teneurs augmentent vers la surface et vers le fond. Pendant les autres mois les teneurs s'accroissent avec la profondeur de façon que les minima se rencontrent à la surface, et les maxima près du fond. Nous y observons, donc, une stratification régulière où les teneurs s'accroissent avec la profondeur.

L'acide carbonique total comporte des carbonates, des bicarbonates et de l'acide carbonique libre. Le cours annuel et la répartition verticale de ceux-ci montrent une allure analogue à celle de l'acide carbonique total (voir la fig. 21).

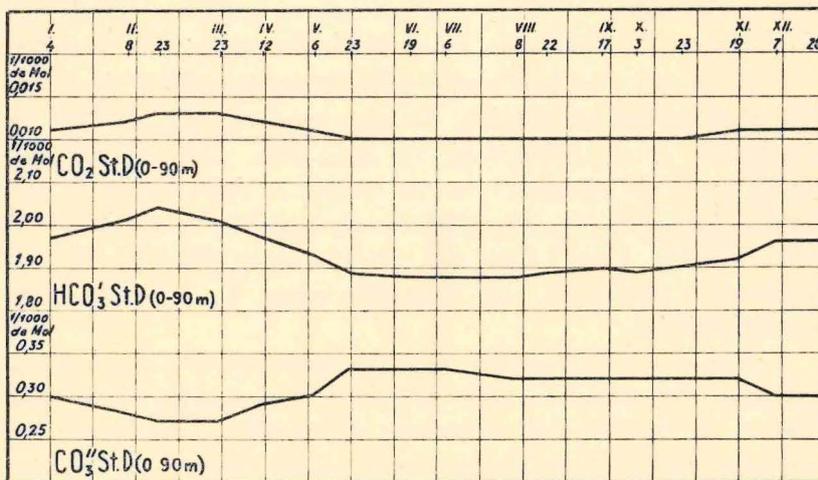


Fig. 21 Cours annuel de l'acide carbonique libre, de l'ion de bicarbonate et de l'ion de carbonate (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

En ce qui concerne l'ion de bicarbonate, celui-ci comprend 85—86% de l'acide carbonique total. Sa teneur varie, en moyenne, de 1,88 à 2,04 millièmes de mol. Son cours annuel, à la station D, nous est présenté par le graphique 21 qui donne les valeurs moyennes de toute la hauteur d'eau. Il en résulte que le cours annuel du bicarbonate est parfaitement analogue à celui de l'acide carbonique total. Par conséquent il montre un maximum d'hiver et un minimum d'été. Les maxima de même que les minima se produisent dans les même temps que ceux de l'acide carbonique total.

En ce qui concerne la répartition verticale du bicarbonate, celle-ci est parfaitement analogue à celle de l'acide carbonique total.

Dans les mois d'été, à partir du mois de mars jusqu'au mois d'octobre, les teneurs en bicarbonate diminuent vers la surface, où l'on rencontre, d'habitude, les teneurs minima. Au contraire, pendant les mois d'hiver, la diminution des teneurs en bicarbonate ne se poursuit qu'au niveau de 40 ou de dix mètres. A la surface même on rencontre, ensuite, des teneurs un peu plus élevées.

L'ion de carbonate comprend 12—14 % de l'acide carbonique total. Sa teneur varie en moyenne, de 0,26 à 0,33 millièmes de Mol. Comme le montre le graphique des valeurs moyennes de toute la hauteur d'eau (voir la fig. 21), son cours annuel présente une allure inverse à celle de l'ion de bicarbonate et de l'acide carbonique total. Les teneurs minimales se rencontrent, donc, en hiver, et les teneurs maximales en été. Le minima moyens annuels se produisent en février, et les maxima en été, à partir du mai jusqu'à l'octobre.

En ce qui concerne la répartition verticale de l'ion de carbonate dans les diverses couches, elle est inverse à celle de l'ion de bicarbonate et de l'acide total. On rencontre, donc, en été, une augmentation du carbonate vers la surface et dans les mois plus froids, l'augmentation du carbonate se manifeste à partir de la couche infime jusqu'à une des couches intermédiaires, où l'on rencontre le maximum. Vers la surface même, il se produit, alors, une légère baisse.

L'acide carbonique libre varie, en moyenne, de 0,010 à 0,013. Son cours annuel est analogue à celui de l'acide carbonique total (voir la fig. 21). En été, les teneurs sont moindres, en hiver elles sont plus élevées. Le maximum moyen annuel se manifeste au mois de février. Il varie de 0,013 (à la station *D*) à 0,014 (à la station *A*). Le minimum moyen annuel se rencontre en été à partir du mai jusqu'à l'octobre. Celui-ci varie de 0,010 à 0,009. Cette teneur se tient à peu près constante pendant les mois d'été.

La répartition verticale de l'acide carbonique libre est analogue à celle de l'ion de bicarbonate. Pendant la plus grande partie de l'année, surtout au printemps et en été, la teneur en  $\text{CO}_2$  libre diminue légèrement vers la surface; pendant l'hiver la chute se poursuit à partir du fond jusqu'à une des couches intermédiaires, où l'on rencontre le minimum. Il recommence alors, vers la surface même, une légère augmentation.

Il résulte, donc, de tout ce que nous venons de voir que l'acide carbonique total, l'ion de bicarbonate et l'acide carbonique libre se comportent de la manière analogue. Après une chute d'été on ren-

contre une élévation d'hiver; à coté d'un maximum près du fond on observe un minimum qui est, en été à la surface, et, en hiver, dans une des couches intermédiaires. Quant à l'ion de carbonate celui-ci montre, en tout, une allure inverse à celle de l'acide carbonique total, de l'ion de bicarbonate et de l'acide libre.

### Discussion des résultats

Si nous considérons les données se rapportant aux diverses composantes de l'acide carbonique dans les eaux étudiées, c'est à dire au pH, à la tension de  $\text{CO}_2$ , à l'acide carbonique total, aux ions de carbonate et de bicarbonate et à l'acide carbonique libre, nous y pouvons constater, parmi eux, une relation étroite. Cette relation est élatante surtout, entre le pH et la tension de  $\text{CO}_2$ : il y existe un rapport inverse, la chute du pH qui s'est produit en automne et en hiver correspond complètement à l'élévation de la tension de  $\text{CO}_2$  dans le même temps.

A l'accroissement du pH correspond, inversement, la baisse de l'acide carbonique total, de l'ion de bicarbonate et de l'acide libre; à la chute du pH correspond, d'autre part, l'élévation de l'acide carbonique total, de l'acide libre et du bicarbonate. Quant à l'ion de carbonate, celui-ci montre, en tout, une allure parallèle au pH. Il en résulte, donc, que le pH, c'est à dire la concentration en ion hydrogène, d'un côté, et la tension de l'acide carbonique de l'autre, sont les facteurs principaux déterminant la concentration de toutes les autres composantes de l'équilibre de l'acide carbonique.

Donc, si l'on veut connaître les causes qui ont déterminé le cours annuel et la répartition verticale des diverses composantes de l'acide carbonique et de l'acide total, force est de connaître les agents qui ont déterminé le cours annuel et la répartition verticale du pH, ou bien ceux de la tension de  $\text{CO}_2$ .

#### Les causes de variations du pH et de la tension de $\text{CO}_2$

Afin de connaître les facteurs qui ont agi sur le cours annuel du pH, nous allons envisager les moyennes qui présentent le cours annuel du pH, de la tension de  $\text{CO}_2$ , de l'alcalinité des carbonates, de la température et de la production planctonique dans toute la hauteur d'eau à la station *D* (voir la figure 22). La mise en parallèle de ces facteurs nous y fait remarquer des relations manifestes. Tout

d'abord, si l'on envisage le cours du pH et de la tension d'un côté et le cours de l'alcalinité des carbonates et de la température de l'autre, on peut observer, entre eux, un rapport évident. Ce rapport résulte du fait que la chute et le minimum du pH ou bien l'accroissement et le maximum de la tension qui se produisent en hiver coïncident avec l'accroissement et le maximum de la teneur en

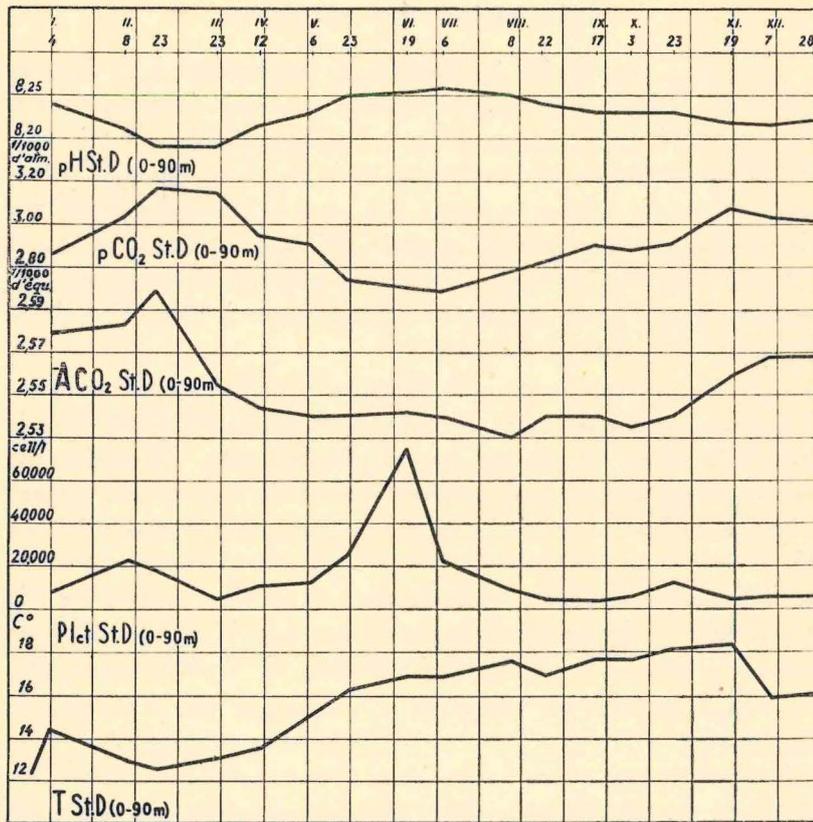


Fig. 22 Rapports entre le pH, la tension de CO<sub>2</sub>, l'alcalinité des carbonates, la production phytoplanktonique et la température (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

alcalinité des carbonates et avec la baisse et le minimum de température. L'accroissement de l'alcalinité des carbonates résulte, surtout, de l'accroissement de la concentration en ion HCO<sub>3</sub><sup>'</sup>, et l'augmentation de celui-ci a pour effet l'accroissement de concentration en ion H<sup>'</sup> et en acide carbonique libre, par conséquent la chute du pH et l'augmentation de la tension de CO<sub>2</sub>. Les températures mi-

nimales qui se sont produites pendant ce temps dans l'eau étudiée ont pu influencer, elles aussi, le pH, parce que la diminution de température rend possible une solution plus intense de l'acide carbonique dans l'eau. Nous pouvons, donc, supposer que l'accroissement et le maximum de l'alcalinité, vraisemblablement aussi le minimum de température, ont agi, dans les trois premiers mois de l'année, sur la chute et le minimum du pH et sur le maximum de la tension de  $\text{CO}_2$ . Pendant ce temps-ci nous ne trouvons pas, apparemment, de relations manifestes entre le pH et la tension d'un côté, et la production phytoplanctonique de l'autre. Mais, si nous considérons, en détail, les données concernant le pH et la production planctonique en ce temps nous sommes obligés à conclure qu'il y est une influence du phytoplancton sur le pH même pendant cette période d'hiver. Si nous tenons compte de cette influence des algues planctoniques, nous pouvons expliquer pourquoi, le 23 mars, le pH est resté aussi bas que le 23 février, bien que, le 23 mars, l'alcalinité des carbonates ait beaucoup baissé. On pourrait comprendre ce fait en supposant que le 23 février le pH, à cause d'une alcalinité beaucoup plus haute, aurait été encore plus bas, si la production planctonique, ce jour-là, avait été aussi basse que le 23 mars. Mais, puisque le 23 mars l'activité assimilatrice a baissé d'une manière considérable, la teneur en pH est restée à peu près la même, bien que l'alcalinité des carbonates ait baissé.

Pendant les mois suivants les conditions ne sont pas restées les mêmes. A partir du mois d'avril jusqu'au début du juillet il se produit l'accroissement et le maximum du pH, et le minimum de la tension de  $\text{CO}_2$ . Ce n'est qu'au commencement de cette période que l'élévation du pH est accompagnée de la baisse d'alcalinité. Cependant la production phytoplanctonique a atteint, pendant cette période, son maximum annuel, et l'élévation du pH et la production planctonique montrent, en ce temps, une allure assez parallèle. Si l'on se rappelle que les plantes, par leur assimilation chlorophyllienne, agissent sur l'abaissement de la tension de  $\text{CO}_2$  et sur l'élévation du pH, on n'est pas loin de la vérité en supposant que le maximum annuel du pH et le minimum de la tension de  $\text{CO}_2$  aient résulté, surtout, du maximum de production phytoplanctonique.

Pendant l'été thermique, c'est à dire à partir du mois de juillet jusqu'au mois de novembre, le pH subit une baisse légère. La mise en parallèle des graphiques de différents facteurs précités ne montre pas, pendant cette période, une relation manifeste entre la

teneur en alcalinité et la production planctonique d'un côté et le pH de l'autre. Au contraire, il paraît exister une connexion entre celui-ci et la température, qui montre, pendant ces mois, son maximum annuel. Cette connexion nous sera facile à expliquer si nous nous rendons compte du fait que l'augmentation de température élève la tension de  $\text{CO}_2$  de même qu'elle augmente la dissociation de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  en ions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{H}^+$  et de  $\text{HCO}_3^-$  en ions  $\text{H}^+$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ . De cette façon, l'accroissement de température élève la concentration en ion hydrogène, et par conséquent abaisse le pH. C'est, donc, surtout la température qui a influé, pendant son maximum annuel, sur la baisse légère du pH.

Il résulte, donc, de ce que nous venons de dire qu'il y a trois facteurs principaux qui ont déterminé le cours annuel du pH et de la tension du gaz carbonique. Ce sont l'alcalinité des carbonates, le phytoplancton et la température. Mais les effets de l'action de ces facteurs ne se manifestent pas également pendant toute l'année. Les divers facteurs montrent leur influence, surtout, au temps de leurs maximums annuels. L'alcalinité des carbonates, à l'époque de son maximum hivernal, produit le minimum du pH et le maximum de la tension de  $\text{CO}_2$ . Le phytoplancton, lors de son développement maximal qui se produit à la fin du printemps, élève le pH à son maximum annuel, et abaisse la tension de  $\text{CO}_2$  à son minimum annuel. L'été thermique dans l'eau étudiée et le maximum de température font baisser le pH et augmenter la tension de  $\text{CO}_2$ .

En ce qui concerne les facteurs qui ont déterminé le cours annuel du pH et de la tension de  $\text{CO}_2$  à la station *A*, ils sont évidemment les mêmes que nous avons vus à la station *D* (voir la fig. 23). La chute et le minimum d'hiver sont causés, surtout, par l'accroissement et le maximum de l'alcalinité des carbonates; le maximum de printemps suit le maximum de production phytoplanctonique, la baisse légère d'été et d'automne semble être produite par le maximum thermique. Tout de même nous voudrions relever une différence qui n'est d'ailleurs que tout à fait apparente. Le minimum d'hiver du pH et le maximum de la tension ne coïncident pas précisément avec le maximum de l'alcalinité des carbonates (le 8 février) mais ils se produisent 15 jours plus tard. Cependant il faut signaler qu'il se produit, le 8 février, le maximum secondaire de la production planctonique. On a compté, ce jour là, en moyenne 202, 523 cellules par litre. Le 23 février, la production planctonique a beaucoup baissé. On peut, donc, supposer que le minimum du pH et le ma-

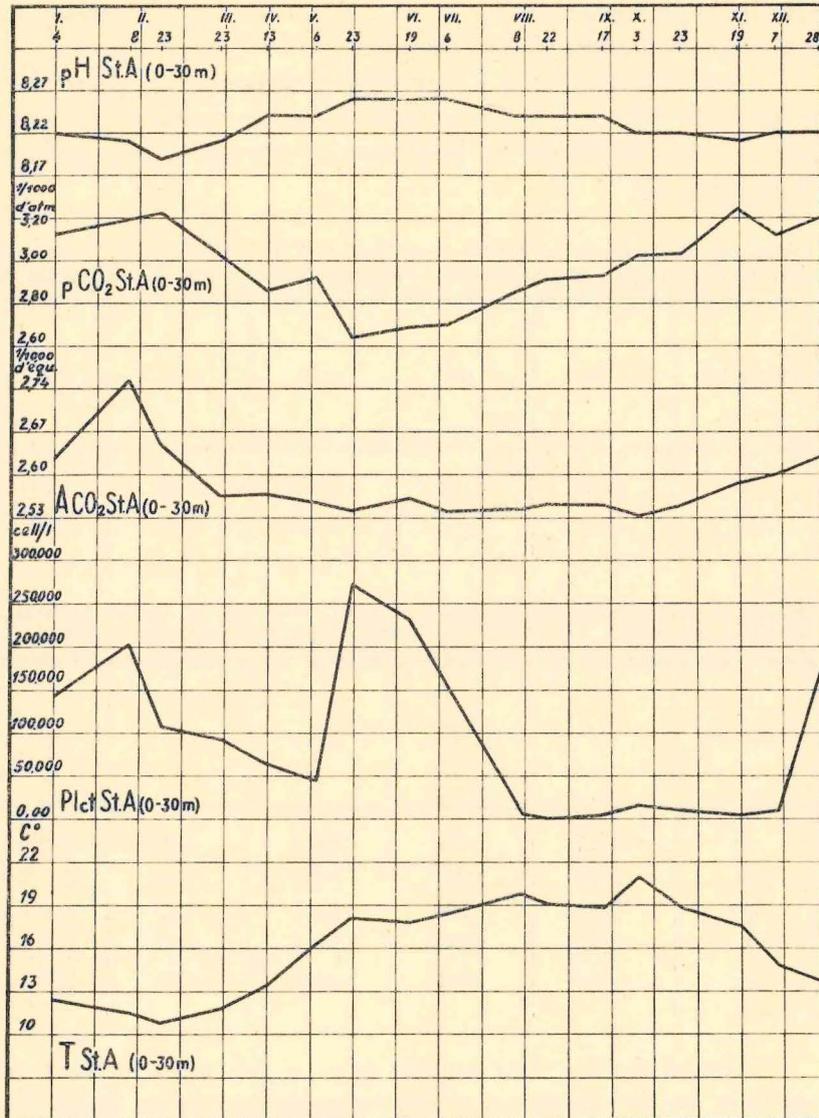


Fig. 23 Rappports entre le pH, la tension de CO<sub>2</sub>, l'alcalinité des carbonates, la production phytoplanktonique et la température (valeurs moyennes annuelles) à la station A.

ximum de la tension de CO<sub>2</sub>, qui auraient dû se manifester déjà le 8 février à cause d'une teneur en alcalinité très élevée, ne se sont pas manifestés ce jour-là en raison de l'intervention énergique du phytoplankton. Ce cas met en évidence la grande influence que peut

exercer le phytoplancton sur le pH même pendant le temps du maximum de l'alcalinité des carbonates.

Il nous reste encore à expliquer brièvement la répartition verticale du pH et de la tension de  $\text{CO}_2$ . Les valeurs moyennes annuelles en sont données sur les tableaux 21 et 22 et sur le graphique de la figure 24.

Tableau 21. Les teneurs moyennes annuelles en T ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\text{pCO}_2$  (1/10000 d'atm.),  $\text{ACO}_2$  (1/1000 d'équ.), pH, production planctonique (Plct cell./l) à la station A

Profondeur	T	$\text{pCO}_2$	$\text{ACO}_2$	pH	Plct
0	17.26	3.030	2.593	8.23	157,415
30	15.26	2.947	2.574	8.22	26,869

Tableau 22. Les teneurs moyennes annuelles en T ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\text{pCO}_2$  (1/10000 d'atm.),  $\text{ACO}_2$  (1/1000 d'équ.), pH, production planctonique (Plct cell./l) à la station D

Profondeur	T	$\text{pCO}_2$	$\text{ACO}_2$	pH	Plct
0	14.27	2.942	2.554	8.23	30,195
10	14.35	2.884	2.548	8.23	20,618
40	13.33	2.868	2.551	8.23	9,303
70	12.33	2.928	2.555	8.22	7,601
90	12.77	2.965	2.558	8.21	4,746

Tout d'abord il faut rappeler que le pH et la tension ne montrent pas de répartitions verticales absolument égales. Quant à la station A, la teneur en pH, au printemps et en été diminue avec la profondeur. En automne et en hiver elle est, d'habitude, moindre à la surface. La tension de  $\text{CO}_2$  n'est plus basse, à la surface, que pendant les mois de mai, de juin et de juillet; pendant les autres mois elle y est d'habitude plus élevée. Si l'on observe les valeurs moyennes annuelles, on voit que la teneur en  $\text{pCO}_2$  est, en surface, plus élevée que dans le niveau de 30 mètres (voir le tableau 21). À la station D, le pH diminue généralement avec la profondeur (voir le tableau 22).

Ce n'est qu'aux mois d'hiver que le pH est plus bas à la surface que dans les niveaux inférieurs. Quant à la tension de  $\text{CO}_2$ , elle augmente habituellement vers la surface et vers le fond, et le minimum se trouve dans une des couches intermédiaires. Le minimum moyen annuel se trouve dans le niveau de 40 mètres. Ce n'est qu'aux mois de juin et de juillet que la tension décroît régulièrement jusqu'à la surface.

Quant aux facteurs qui ont influé sur la répartition verticale du pH et de la tension, ce sont la production planctonique, l'alcalinité

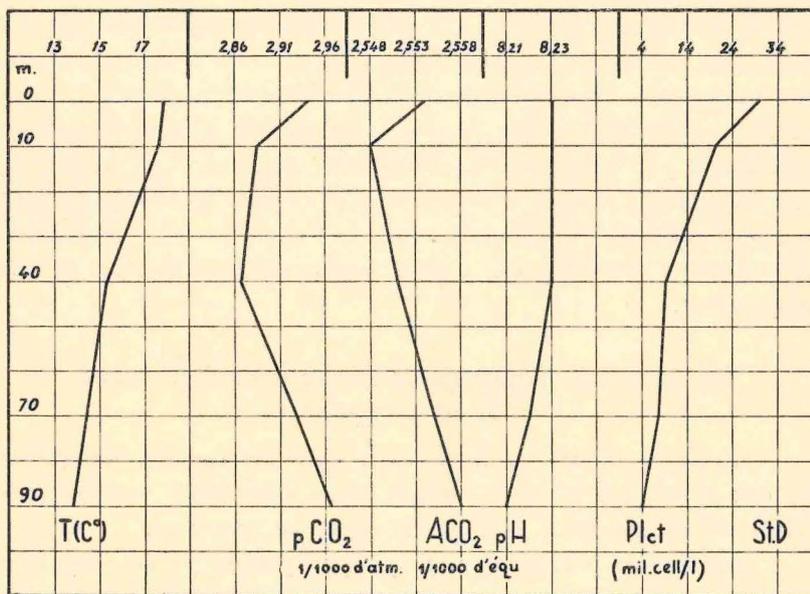


Fig. 24 Rappports entre la répartition verticale de la température, de la tension de  $\text{CO}_2$ , de l'alcalinité des carbonates, du pH et de la production phytoplanktonique (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

des carbonates et la température qu'y entrent en ligne de compte. La production planctonique paraît être le facteur principal qui élève la teneur en pH dans les niveaux supérieurs d'eau au printemps et en été à la station A et pendant toute l'année, excepté l'hiver, à la station D. L'alcalinité des carbonates paraît agir sur l'abaissement du pH et l'accroissement de la tension dans les eaux de surface surtout pendant la saison d'hiver. C'est la raison pour laquelle la teneur moyenne annuelle en pH, à la surface de la station D, n'est pas plus grande que celle du niveau de 10 mètres, quoique la production planctonique y soit beaucoup plus grande (voir le tableau

22). Les hautes températures agissent sur l'augmentation de tension de  $\text{CO}_2$  dans les couches supérieures pendant l'été thermique dans le même temps où le pH n'y est pas plus bas que dans les couches inférieures. Ce sont, donc, les hautes températures des couches supérieures qui ont élevé, dans ces mêmes couches, en été et en automne, la tension de  $\text{CO}_2$  qui y serait plus basse si la température n'intervenait pas. C'est pourquoi le minimum moyen annuel de tension, à la station *D*, ne se trouve pas à la surface ou bien dans le niveau de 10 mètres où se trouvent les minima de concentration en ion H et de la teneur en alcalinité des carbonates, mais il se trouve dans la couche de 40 mètres à la station *D*, et près du fond, à la station *A* (voir les tableaux 21 et 22 et la fig. 24). Donc, par rapport à la répartition verticale du pH et de la tension de  $\text{CO}_2$ , on peut généralement dire que la répartition du pH est déterminée visiblement par l'alcalinité des carbonates (en hiver à la station *D*, en automne et en hiver à la station *A*) et par le développement phytoplanctonique (pendant le reste de l'année), et la répartition de la tension de  $\text{CO}_2$  est encore visiblement influencée par la température.

#### Les causes de variations de l'acide carbonique total et de ses composés

Il nous reste encore à discuter, tout brièvement, les causes qui ont déterminé le cours annuel et la répartition verticale de l'acide carbonique total ( $\Sigma\text{CO}_2$ ) et de ses composantes.

La mise en parallèle des graphiques présentant les moyennes de l'alcalinité des carbonates, de la température et de l'acide total dans toute la hauteur d'eau, nous montre, à la station *D*, un rapport étroit entre l'alcalinité et la température d'une part et l'acide carbonique total de l'autre (voir la fig. 25). Mais pendant que l'alcalinité est en proportion directe avec le  $\Sigma\text{CO}_2$ , la température est en proportion inverse. La courbe de l'acide carbonique total doit être considérée comme résultante de la température et de la concentration en alcalinité des carbonates. Celle-ci est en proportion directe avec l'acide total, parce qu'elle est composée de carbonates et de bicarbonates qui constituent plus de 99,5% de l'acide total. La température est en proportion inverse, parce que l'augmentation de température agit sur la diminution de solution du gaz carbonique dans l'eau. A la station *A* les conditions sont tout à fait analogues à celles à la station *D*.

En ce qui concerne la répartition verticale de l'acide carbonique total, celle-ci est en même rapport à l'alcalinité des carbonates et à la température que nous venons de voir pour le cours annuel. A la station *A*, la teneur en acide total augmente vers la surface, parfois vers le fond. A la station *D*, le minimum se trouve dans une des couches intermédiaires, et il coïncide avec le minimum de l'alcalinité des carbonates. Celle-ci, donc, détermine la répartition verticale de l'acide total (voir la fig. 26).

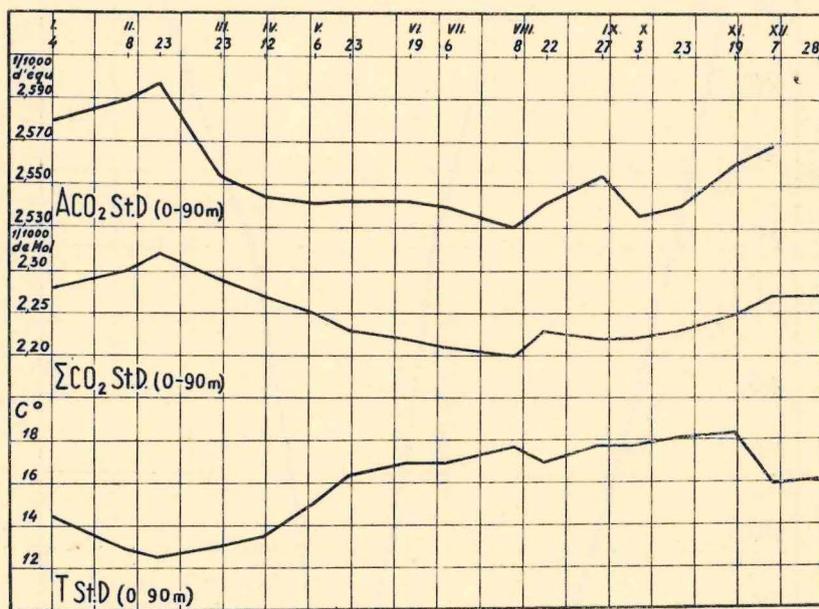


Fig. 25 Rappports entre l'alcalinité des carbonates, l'acide carbonique total et la température (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

En ce qui concerne le cours annuel et la répartition des ions de bicarbonate, de carbonate et de l'acide carbonique libre, ceux-ci sont en proportion directe ou bien inverse avec le pH. L'ion de bicarbonate et celui de l'acide libre montrent un parallélisme inverse avec le pH, l'ion de carbonate montre un parallélisme direct. A mesure, donc, que l'eau devient moins alcaline, elle s'enrichit en bicarbonate et en acide carbonique libre; à mesure qu'elle devient plus alcaline, elle s'enrichit en ion de carbonate. Cette régularité se manifeste aussi bien dans le cours annuel que dans la répartition verticale des composantes de l'acide carbonique total. Donc, les

mêmes facteurs qui ont déterminé les teneurs en pH, ont déterminé aussi les teneurs en diverses composantes de l'acide carbonique total.

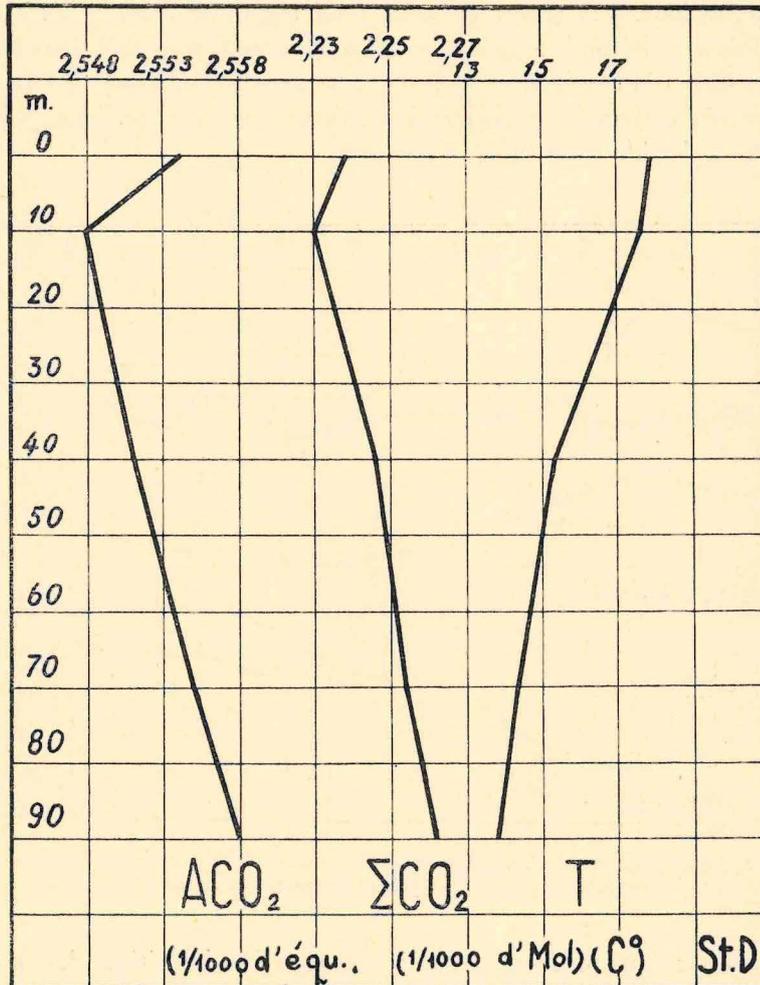


Fig. 26 Rappports entre la répartition verticale de l'alkalinité des carbonates, de l'acide carbonique total et de la température (valeurs moyennes annuelles) à la station D.

Comme nous avons vu, parmi ces facteurs il faut citer l'alkalinité des carbonates, la température et la production phytoplantonique.

### Àperçu sommaire des résultats

La température, la salinité et le phytoplancton (ici on ne tient pas compte des autres organismes marins) peuvent être considérés comme des facteurs fondamentaux de tous les processus physico-chimiques dans l'eau de mer.

En ce qui concerne la température des eaux étudiées, on peut distinguer l'été et l'hiver thermiques. L'été thermique comprend la période à partir du mois de février jusqu'au mois d'octobre, et l'hiver thermique occupe les autres mois. De cette façon, l'été et l'hiver thermiques, dans les eaux étudiées, retardent de deux mois vis-à-vis de l'été et l'hiver atmosphériques.

En ce qui concerne les variations de salinité, celles-ci montrent un rapport manifeste à la quantité de chutes atmosphériques. Dans la région de nos études il y a deux périodes de pluie: la période principale de pluie dans la deuxième moitié d'automne, et la période secondaire de pluie au début du printemps. Comme on a déjà montré, les apports abondants d'eau douce, lors de ces périodes de pluie, font baisser considérablement la salinité dans les eaux côtières de l'Adriatique orientale. C'est justement au temps de ces périodes pluvieuses, ou quelque peu plus tard, qu'on rencontre le minimum de salinité. Le minimum annuel moyen fut trouvé en cette année 1934 au mois de novembre, et le minimum secondaire au mois de mai.

Le troisième facteur fondamental est d'ordre biologique. C'est la production de phytoplancton. Celui-ci montre un maximum secondaire au mois de février; il passe par son maximum annuel au mois de mai ou de juin.

Les facteurs de température, de salinité et de phytoplancton que nous considérons ici comme fondamentaux, ont déterminé, dans les eaux étudiées, la teneur et les variations des autres facteurs physicochimiques que nous avons envisagés dans ce travail, c'est à dire celles du carbonate de chaux et de l'alcalinité totale de même que celles de l'ion hydrogène, de la tension de l'acide carbonique et des diverses composantes du même acide.

Tout d'abord, en ce qui concerne les teneurs absolue et relative en carbonate de chaux et leurs variations (par conséquent la teneur et les variations de l'alcalinité totale et de l'alcalinité spécifique, parce que le carbonate de chaux présente la partie essentielle de l'alcalinité totale) elles sont en relation manifeste avec les variations de salinité et de production phytoplanctonique.

Tout d'abord par rapport à la salinité, la teneur en carbonate de chaux (de même que l'alcalinité totale) montre une relation inverse. A mesure que la salinité baisse, les teneurs relative et absolue en carbonate de chaux (et par conséquent l'alcalinité totale et l'alcalinité spécifique) s'élèvent et viceversa. De ce fait, les valeurs minimales du  $\text{CaCO}_3$  et du  $\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg Sal}}$  coïncident avec les valeurs maximales de la salinité et on les rencontre, les unes et les autres, au temps du maximum thermique. Les teneurs maximales en  $\text{CaCO}_3$  et  $\frac{\text{g CaCO}_3}{\text{kg Sal}}$ , en janvier et en février, se rencontrent après de teneurs minimales en salinité. Cette relation inverse entre la salinité et la teneur en carbonate de chaux peut être expliquée par le fait que l'eau de mer étudiée présente, en réalité, un mélange d'eau océanique-méditerranéenne et d'eau douce. Celle-ci n'aboutit pas à la mer qu'après avoir traversé de grandes étendues de terre très riche en calcaire qu'elle dissout aisément. A supposer que cette eau douce contienne non seulement d'une manière relative, c'est à dire par rapport aux autres composantes dissoutes, mais aussi d'une manière absolue, une teneur plus élevée en carbonate de chaux que l'eau de mer, en diluant celle-ci et abaissant la salinité, elle augmentera la teneur en carbonate de chaux. C'est justement le cas qui se présente dans les eaux étudiées. On a pu constater le fait que la teneur en carbonate augmente à mesure que la salinité tombe, et viceversa. De cette façon les apports d'eau douce, riche en calcaire, et par conséquent les variations de salinité, présentent le facteur principal d'une grande teneur en carbonate et de ses variations remarquables dans les eaux étudiées. Mais ce n'est pas la salinité seule-paraît-il-qui est responsable pour les variations de la teneur en calcaire dissous. Les organismes calcaires y jouent un rôle qui n'est pas négligeable. Selon toute apparence, les coccolithophorides y exercent une influence remarquable. Ces algues planctoniques ont atteint, en l'année 1935, leur développement maximal au mois de mai. Il est bien vraisemblable que ces organismes ont agi, à ce temps-là, sur la diminution de calcaire dissous dans l'eau étudiée. Mais leur intervention qui ne se marque pas assez nettement dans le cours annuel du carbonate, semble se dessiner d'une manière plus manifeste dans la répartition verticale du calcaire. Par rapport à cette répartition, les études présentes ont montré que la teneur moyenne en calcaire montre, généralement, une proportion inverse à

la masse de coccolithophorides. Dans le même niveau de 10 mètres, où l'on rencontre le minimum annuel de calcaire, on rencontre aussi le maximum de production de coccolithophorides.

De cette façon il y a deux facteurs fondamentaux qui déterminent la teneur absolue et relative en carbonate de chaux et ses variations: la salinité et les organismes calcaires, en premier lieu les coccolithophorides. L'influence de celle-là apparaît surtout dans le cours annuel; l'action vitale de celles-ci se manifeste, surtout, dans la répartition verticale du carbonate de chaux.

Que l'influence des algues planctoniques ne se fait sentir apparemment dans le cours annuel du calcaire, cela résulte du fait que les variations saisonnières de calcaire, résultant de variations de salinité, sont trop considérables pour pouvoir être, visiblement, influées par la masse assez restreinte de coccolithophorides. Mais cette masse paraît-il-suffit pour marquer son influence sur la répartition verticale, où les gradients du calcaire sont de beaucoup moins accentués.

La salinité et le phytoplancton ne déterminent par seulement la quantité et les variations de calcaire, mais ils interviennent, d'une manière décisive, dans les variations de concentration en ion hydrogène et de tension de l'acide carbonique. L'action de la salinité se manifeste, surtout, d'une manière indirecte moyennant le carbonate de chaux qui agit directement. Celui-ci est aidé, d'autre part, par l'action de la température et du phytoplancton.

Les recherches effectuées sur nos eaux cotières démontrent qu'il existe dans le cours annuel du pH et de la tension de  $\text{CO}_2$  une proportion inverse et que ces deux facteurs sont complètement sous la dépendance du carbonate de chaux, de la température et du phytoplancton. Le carbonate de chaux agit sur la diminution du pH et l'augmentation de la tension, la température agit dans le même sens, le phytoplancton agit en sens inverse. Mais l'action de ces trois facteurs ne se manifeste pas également pendant toute l'année; l'effet de chacun d'eux n'apparaît visiblement qu'au temps de leurs maximums annuels. Le carbonate de chaux, au temps de son maximum annuel, en février, agit sur l'abaissement du pH à son minimum, et sur l'augmentation de la tension jusqu'à son maximum annuel. La production maximale de phytoplancton, en mai ou en juin, élève le pH à son maximum et abaisse la tension à son minimum annuel. L'augmentation de température, au temps de l'été thermique, cause une baisse légère du pH et une élévation de tension.

L'influence de ces trois facteurs se manifeste, aussi, dans la répartition verticale du pH et de la tension. Mais pendant que la répartition du pH montre une relation plus marquée à la teneur en carbonate de chaux et à la production planctonique, la répartition de la tension de  $\text{CO}_2$  montre une relation plus étroite à la température. Comme les températures annuelles moyennes s'accroissent considérablement vers la surface, et que l'augmentation de température agit sur l'augmentation de la tension, celle-ci s'accroît à partir du niveau de 40 mètres (où se trouve le minimum moyen) vers la surface, tandis que de pH, dans ces couches supérieures, reste le même.

Comme l'anhydride carbonique se dissout dans l'eau de mer, celle-ci contient une certaine quantité d'acide carbonique qui est combiné, en partie, dans les bicarbonates, en partie dans les carbo-

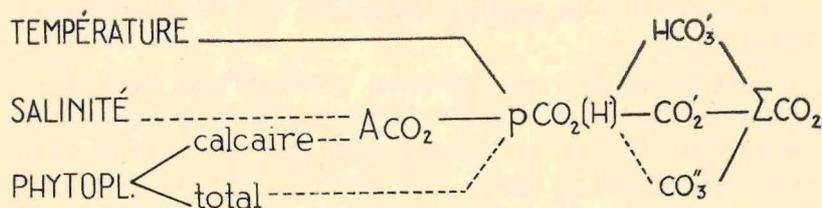


Fig. 27 Rapports entre les diverses qualités physico-chimiques et le phytoplancton de l'eau étudiée.

nates, en partie il est libre. La teneur totale en acide carbonique ( $\Sigma \text{CO}_2$ ) dépend directement de la tension du gaz carbonique, et, indirectement, de la température et, surtout, de la teneur en carbonate de chaux. Celle-là agit en diminuant, celle-ci en augmentant la teneur en acide carbonique total. En ce qui concerne le cours annuel de celui-ci, on y aperçoit l'influence de la température de même que celle de l'alcalinité des carbonates. Comme celle-ci baisse au cours du printemps et de l'été et que la température en même temps augmente, la teneur en acide carbonique total, en été, passe par son minimum et, en hiver, par son maximum. Quant à la répartition verticale de l'acide total, on y peut observer, surtout, l'influence de l'alcalinité. Le minimum et le maximum de l'acide carbonique total coïncident avec le minimum et le maximum de l'alcalinité des carbonates. Ceux-là se trouvent dans le niveau de 10 mètres, ceux-ci à la surface.

En ce qui concerne les diverses composantes de l'acide carbonique, elles ne se comportent pas d'une manière égale. Les ions de bicarbonate et de l'acide libre montrent en tout une allure parallèle à celle de l'acide total, tandis que l'ion de carbonate montre une allure inverse.

Un bref aperçu sommaire de toutes ces conditions et des résultats concernant l'alcalinité des carbonates (le carbonate de chaux) et l'acide carbonique dans les eaux étudiées nous se présente dans la figure 27. On y peut remarquer que la salinité et le phytoplancton calcaire déterminent la teneur en alcalinité des carbonates (en carbonate de chaux) et que celle-ci, en coopération avec la température et le phytoplancton total, détermine la tension du gaz carbonique et la concentration en ion hydrogène (le pH) qui influent, à leur tour, sur la teneur en acide carbonique total et en diverses composantes de celui-ci.

---

### Bibliographie

- Atkins W. R. G. (1922): The hydrogen ion concentration of sea water in its relation to photosynthetic changes. Part. I. (Journ. Marine Biol. Ass. Bd. XII.)
- (1923). — Part. II. Ibid. Bd. XIII.
- (1924). — Part. III. Ibid. Bd. XIII.
- Böhnecke G., Hentschel E. und Wattenberg H. (1930): Über hydrographischen, chemischen und biologischen Verhältnisse an der Meeresoberfläche zwischen Island und Grönland (Annalen d. Hydr. usw. Bd. LVIII).
- Buch K. (1929): On the determination of pH in sea-water at different temperatures (Journ. du Conseil, Bd. IV).
- (1930): Die Kohlensäurefaktoren des Meerwassers I. und II. (Rapp. et Proc.-Verb. Cons. Int. Bd. LXVII).
- (1929): Über den Einfluss der Temperatur auf die pH Bestimmung des Meerwassers. (Havsforskningsinstituts skrift, Nr. 61).
- , Harvey H., Wattenberg H. und Gripenberg S. (1932): Über das Kohlensäuresystem im Meerwasser. (Rapp. et Proces-Verbaux des Réunions, Vol. LXXIX).

- B u c h K. (1933): On Boric Acid in the Sea and its influence on the Carbonic acid equilibrium. (Journ. du Conseil, Vol. VIII.)
- (1933): Der Borsäuregehalt des Meerwasser u. seine Bedeutung bei der Berechnung des Kohlensäuresystems im Meerwasser. (Rapp. et Proc. Verbaux Vol. LXXXV, Part 3.)
- (1934): Der Salz- und Temperaturfehler von Thymolblau. (Journ. du Conseil, Vol. IX, No. 2).
- E r c e g o v i ć A. (1934): Istraživanja o temperaturi, salinitetu, kisiku i fosfatima jadranskih voda srednjodalmatinske obale. (Prir. istr. Kr. Jug. Sv. 19).
- (1934): Température, salinité, oxygène et phosphates dans les eaux cotières de l'Adriatique oriental moyen. (Acta Adriatica No. 5).
- G a a r d e r T. und G r a n H. H. (1927): Investigations of the production of plankton in the Oslo Fjord. (Rapp. et Proc.-Verb. Bd. XLII).
- G e e H., M o b e r g E. a. G r e e n b e r g D. (1932): Calcium Equilibrium in sea Water. (Bull. Scripps Inst. Oceanogr. La Jolla, Ser. III).
- G o l d s c h m i d t V. M. (1931): Der Kreislauf der Metalle in der Natur. (Metallwirtschaft X, Heft 14).
- , und P e t e r s C. (1932): Zur Geochemie des Bors. I. u. II. (Nachrichten v. d. Ges. d. Wiss. z. Göttingen, Math.-Phys. Kl. 1932).
- G r e e n b e r g D. M., M o b e r g E. G. und A l l e n E. C. (1932): Determination of carbon dioxide and titratable base in sea water. (Industr. Eng. Chem. Analyt. Ed. Bd. 4).
- H a d ž i J. (1931): Die Kalziumsalze als Skelettmaterial der Avertebraten in Verbindung mit dem Übergange der Tiere aus dem Meere ins süsse Wasser (Arch. Chimie et Pharm. Zagreb, 1931).
- K ä n d l e r R. (1930): Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Wasserstoffionen-Konzentration, freier Kohlensäure und Alkalinität im Seewasser. (Int. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr. Bd. XXIV).
- K r e p s E. M. (1926): Über das gegenseitige Verhältnis von  $\text{CO}_2$  und pH m Meerwasser bei verschiedenem Salzgehalt. (Int. Rev. d. ges. Hydrogr. u. Hydrob. Bd. XV).
- L e d e r H. (1915): Untersuchungen über Alkalinität in der Adria. (Int. Rev. d. g. Hydrog. u. Hydrob. Bd. VI).

- Legendre R. (1925): La concentration en ions hydrogène de l'eau de mer (le pH) Paris, 1925.
- Marshall S. M. und Orr A. P. (1927): The relation of the plankton to some chemical and physical factors in the Clyde Sea area. (Journ. Marine Biol. Assoc. Bd. XIV).
- (1930): A study of the spring diatom increase in Loch Striven. (Ibid. Bd. XVI).
- McClendon I. F., Gault C. C. und Mulholland S. (1917): The hydrogen-ion concentration, CO<sub>2</sub>tension and CO<sub>2</sub>-content of sea-water. (Pap. Dep. Marine Biol. Carnegie Inst. Wash. Bd. II).
- Palitzsch S. (1912): Measurement of the hydrogen ion concentration in sea-water. (Report on the Danish Oceanogr. Exp. 1908-10 to Mediterranean and adjacent seas Bd. I.)
- (1915): Über die Anwendung von Borax- und Borsäurelösungen bei der colorimetrischen Messung der Wasserstoffionenkonzentration des Meerwassers. (Bioch. z. Bd. LXX).
- (1923): Die Fragen der Alkalinität, der Kohlensäure und der Wasserstoffionenkonzentration in Meerwasser. (Int. Rev. d. g. Hydrogr. und Hydrobiol. Bd. XI.)
- Ringer W. E. (1928): Die Alkalinität des Meereswassers. (Rapport Proc.-Verb. Bd. XLVII.)
- Ruppin E. (1910): Die Alkalinität des Meerwassers. (Wiss. Meeresuntersuchungen N. F. Bd. XI. Abteilung Kiel).
- Schulz B. (1921): Methoden und Ergebnisse der Untersuchung des Kohlensäuregehalts im Meerwasser. (Ann. d. Hydr. usw. Bd. 49).
- (1930): Beiträge zur Kenntnis der Alkalinität des Oberflächenwassers im Nordatlantischen Ozean. (Annalen d. Hydrogr. u. Mar. Met., 1930 S. 162—164).
- (1931): Alkalinität des Oberflächenwassers zwischen Island und Grönland. (Ibidem, 1931, S. 408—409).
- Sorensen S. P. L. und Palitzsch S. (1913): Über den Salzfehler bei der colorimetrischen Messung der Wasserstoffionenkonzentration des Meerwassers. (Biochem. Zeitschrift, Bd. LI).
- Wattenberg H. (1926): Bericht über die chemischen Arbeiten der Deutschen atlantischen Expedition. (Z. d. Ges. für Erdkunde, Berlin 1926/27, N. I—IV).

- (1929): Die Durchlüftung des Atlantischen Ozeans. (Journ. du Conseil Bd. IV).
  - (1930): Über die Bestimmung der Alkalinität des Meerwassers. (Annal. d. Hydrogr. u. Mar. Met. Heft 8, 1930).
  - (1931): Über den Kalkgehalt des Ozeanwassers. (Ibid. Heft 8, 1931).
  - (1931): Beziehungen zwischen Kalkgehalt des Meerwassers und Plankton (Rapp. et. Proc.-Verb. Vol. LXXV. 1931.)
  - (1932): Die Beziehungen zwischen pH und freien Kohlensäure im Atlantischen Ozean. (Int. Rev. d. ges. Hydr. usw. Bd. XXVI).
  - (1933): Kalziumkarbonat- und Kohlensäuregehalt des Meerwassers. (Wiss. Ergeb. d. d. Atl. Exp. auf dem Forsch. u. Werm.-Schiff »Meteor« 1925—1927, Bd VIII.)
- Zorell F. (1933): Beiträge zur Kenntnis d. Alkalinität d. Meerwasser. (Ann. d. Hydr. u. Met. Heft 1—2, 1933).
-

TABLEAUX

## Station D.

le	Profondeur ms	Température °C	Cl ‰	Sal ‰	p H	Alcalinité totale 1/1000 d' équ.	Al/Cl	Alcalinité des borates 1/1000 d' équ.
4/I	0	13.88	20.57	37.16	8.23	2.695	0.1310	0.111
	10	14.34	20.80	37.57	8.24	2.695	0.1296	0.115
	40	14.59	20.92	37.79	8.24	2.695	0.1288	0.117
	70	14.69	20.95	37.84	8.24	2.695	0.1285	0.118
	90	14.87	21.02	37.97	8.24	2.695	0.1282	0.118
8/II	0	12.68	20.93	37.81	8.21	2.692	0.1285	0.108
	10	12.80	20.98	37.90	8.23	2.692	0.1283	0.112
	40	13.00	21.00	37.94	8.22	2.692	0.1282	0.110
	70	13.08	21.03	37.99	8.21	2.692	0.1280	0.108
	90	13.08	21.03	37.99	8.19	2.692	0.1281	0.104
23/II	0	12.20	20.95	37.84	8.20	2.692	0.1282	0.104
	10	12.28	20.96	37.86	8.20	2.692	0.1283	0.105
	40	12.62	21.02	37.97	8.20	2.701	0.1284	0.105
	70	12.75	21.06	38.04	8.18	2.710	0.1286	0.102
	90	12.78	21.08	38.08	8.18	2.713	0.1282	0.103
23/III	0	12.38	20.35	36.76	8.20	2.655	0.1304	0.100
	10	13.10	21.01	37.95	8.20	2.655	0.1263	0.106
	40	13.04	21.03	37.99	8.20	2.655	0.1262	0.106
	70	13.18	21.07	38.06	8.18	2.655	0.1260	0.102
	90	13.31	21.10	38.12	8.18	2.667	0.1263	0.103
13/IV	0	14.12	20.77	37.52	8.22	2.655	0.1277	0.111
	10	13.32	20.79	37.56	8.22	2.655	0.1276	0.111
	40	13.94	20.92	37.79	8.22	2.653	0.1267	0.112
	70	13.20	21.08	38.08	8.21	2.653	0.1258	0.109
	90	13.20	21.09	38.10	8.21	2.656	0.1258	0.109
6/V	0	17.05	20.49	37.01	8.24	2.657	0.1296	0.119
	10	16.64	20.70	37.39	8.24	2.660	0.1285	0.120
	40	15.12	20.96	37.86	8.23	2.656	0.1267	0.116
	70	13.06	21.09	38.11	8.21	2.653	0.128	0.108
	90	13.36	21.11	38.13	8.21	2.655	0.1257	0.109

## Station D.

Alcalinité des carbonates $\frac{1}{1000}$ d' équ.	Ca CO <sub>3</sub> mgrs in l.	g Ca CO <sub>3</sub> kg Sal	p CO <sub>2</sub> $\frac{1}{10000}$ d' Atm.	$\Sigma$ CO <sub>2</sub> $\frac{1}{1000}$ de Mol	c CO <sub>2</sub> $\frac{1}{1000}$ de Mol	c H CO <sub>3</sub> ' $\frac{1}{1000}$ de Mol	c CO <sub>3</sub> " $\frac{1}{1000}$ de Mol
2584	129.20	3.477	2.919	2.29	0.012	1.98	0.30
2580	129.00	3.433	2.834	2.29	0.011	1.97	0.31
2572	128.90	3.411	2.828	2.28	0.011	1.97	0.30
2577	128.55	3.396	2.845	2.28	0.011	1.97	0.30
2577	128.85	3.392	2.836	2.28	0.011	1.97	0.30
2584	129.20	3.417	3.022	2.31	0.012	2.01	0.28
2580	129.00	3.404	2.869	2.30	0.012	2.00	0.29
2582	129.10	3.403	2.960	2.30	0.012	2.00	0.29
2584	129.20	3.401	3.112	2.31	0.013	2.01	0.28
2588	129.40	3.406	3.205	2.32	0.013	2.04	0.27
2588	129.40	3.419	3.07	2.32	0.013	2.04	0.27
2587	129.35	3.418	3.07	2.32	0.013	2.03	0.28
2596	129.80	3.418	3.08	2.32	0.013	2.03	0.28
2608	130.40	3.428	3.31	2.34	0.014	2.06	0.27
2610	130.50	3.427	3.31	2.34	0.014	2.07	0.27
2555	127.75	3.475	3.129	2.29	0.013	2.01	0.27
2549	127.45	3.359	3.061	2.28	0.012	2.00	0.27
2549	127.45	3.355	3.059	2.28	0.012	2.00	0.27
2553	127.65	3.353	3.237	2.30	0.013	2.03	0.26
2564	128.20	3.372	3.268	2.31	0.013	2.04	0.26
2544	127.20	3.390	2.941	2.26	0.012	1.96	0.29
2544	127.20	3.386	2.917	2.26	0.012	1.96	0.29
2541	127.05	3.362	2.918	2.26	0.011	1.96	0.29
2544	127.20	3.340	2.967	2.27	0.012	1.98	0.28
2547	127.35	3.340	2.969	2.27	0.012	1.98	0.28
2538	126.90	3.428	2.868	2.21	0.010	1.88	0.33
2540	127.00	3.396	2.852	2.22	0.011	1.88	0.33
2540	127.00	3.355	2.874	2.25	0.011	1.94	0.30
2545	127.20	3.339	2.966	2.27	0.012	1.98	0.28
2546	127.30	3.339	2.965	2.27	0.012	1.98	0.28

## Station D.

le	Profondeur ms	Température °C	Cl ‰	Sal ‰	p H	Alcalinité totale 1/1000 d' équ.	Al/Cl	Alcalinité des borates 1/1000 d' équ.
23/V	0	20.08	20.22	36.53	8.26	2.664	0.1317	0.127
	10	18.18	20.44	36.92	8.26	2.663	0.1301	0.124
	40	15.65	20.99	37.92	8.26	2.664	0.1269	0.124
	70	14.00	21.14	38.19	8.24	2.664	0.1259	0.117
	90	13.96	21.19	38.28	8.23	2.664	0.1256	0.115
19/VI	0	20.58	20.27	36.62	8.28	2.673	0.1318	0.132
	10	20.64	20.67	37.34	8.27	2.669	0.1290	0.132
	40	14.90	21.05	38.03	8.25	2.664	0.1265	0.120
	70	14.31	21.14	38.19	8.25	2.663	0.1259	0.119
	90	14.28	21.19	38.28	8.22	2.663	0.1258	0.113
6/VII	0	21.10	20.54	37.10	8.27	2.665	0.1296	0.131
	10	21.40	20.83	37.63	8.26	2.665	0.1279	0.131
	40	15.06	21.16	38.22	8.25	2.663	0.1258	0.121
	70	14.30	21.16	38.40	8.25	2.663	0.1253	0.120
	90	12.84	21.05	38.03	8.25	2.663	0.1265	0.116
8/VIII	0	24.00	20.79	37.56	8.24	2.657	0.1278	0.127
	10	21.52	20.93	37.81	8.25	2.652	0.1266	0.130
	40	15.11	21.18	38.26	8.25	2.651	0.1251	0.121
	70	14.32	21.27	38.42	8.25	2.654	0.1253	0.120
	90	13.84	21.23	38.35	8.24	2.655	0.1256	0.117
22/VIII	0	23.22	20.82	37.61	8.24	2.667	0.1280	0.127
	10	19.98	20.96	37.86	8.24	2.662	0.1269	0.128
	40	14.67	21.21	38.31	8.24	2.662	0.1255	0.120
	70	13.91	21.24	38.37	8.25	2.663	0.1253	0.119
	90	13.15	21.22	38.33	8.23	2.657	0.1252	0.113
17/IX	0	22.65	20.73	37.45	8.24	2.664	0.1285	0.126
	10	22.40	20.88	37.72	8.24	2.659	0.1273	0.127
	40	15.12	21.22	38.33	8.23	2.659	0.1252	0.117
	70	14.34	21.27	38.42	8.22	2.659	0.1250	0.115
	90	13.91	21.22	38.33	8.22	2.657	0.1252	0.113

## Station D.

Alcalinité des carbonates $\frac{1}{1000}$ d' équ.	Ca CO <sub>3</sub> mgrs in l.	$\frac{g \text{ Ca CO}_3}{kg \text{ Sal}}$	p CO <sub>2</sub> $\frac{1}{10000}$ d' Atm.	$\Sigma \text{ CO}_2$ $\frac{1}{1000}$ de Mol	c CO <sub>2</sub> $\frac{1}{1000}$ de Mol	c HCO <sub>3</sub> ' $\frac{1}{1000}$ de Mol	c CO <sub>3</sub> " $\frac{1}{1000}$ de Mol
2-537	126-85	3-472	2-752	2-19	0-009	1-84	0-35
2-539	126-95	3-438	2-690	2-21	0-010	1-86	0-34
2-540	127-00	3-349	2-672	2-21	0-010	1-86	0-34
2-547	127-35	3-335	2-776	2-25	0-011	1-94	0-30
2-549	127-45	3-329	2-841	2-26	0-011	1-95	0-30
2-541	127-05	3-469	2-574	2-17	0-009	1-80	0-37
2-537	126-85	3-397	2-656	2-17	0-009	1-80	0-37
2-544	127-20	3-345	2-727	2-24	0-010	1-92	0-31
2-544	127-20	3-331	2-714	2-24	0-011	1-92	0-31
2-550	127-45	3-330	2-871	2-27	0-011	1-97	0-29
2-544	126-70	3-415	2-669	2-19	0-009	1-81	0-37
2-534	126-70	3-367	2-684	2-18	0-009	1-82	0-36
2-542	127-10	3-326	2-711	2-24	0-010	1-92	0-31
2-543	127-15	3-311	2-699	2-25	0-011	1-94	0-30
2-547	127-35	3-349	2-684	2-25	0-011	1-94	0-30
2-530	126-50	3-368	2-951	2-16	0-009	1-79	0-37
2-522	126-10	3-336	2-802	2-16	0-009	1-80	0-36
2-530	126-50	3-306	2-707	2-24	0-010	1-93	0-30
2-534	126-70	3-298	2-698	2-24	0-011	1-93	0-30
2-538	126-90	3-309	2-755	2-25	0-011	1-95	0-29
2-540	127-00	3-377	2-947	2-17	0-009	1-80	0-37
2-534	126-70	3-347	2-877	2-19	0-010	1-83	0-35
2-542	127-10	3-318	2-775	2-24	0-011	1-92	0-31
2-544	127-20	3-315	2-691	2-25	0-011	1-93	0-31
2-544	127-20	3-319	2-806	2-26	0-011	1-96	0-29
2-538	126-90	3-389	2-946	2-17	0-009	1-81	0-36
2-532	126-60	3-356	2-920	2-17	0-009	1-81	0-36
2-542	127-10	3-316	2-853	2-24	0-011	1-94	0-30
2-544	127-20	3-311	2-917	2-26	0-011	1-96	0-29
2-544	127-20	3-318	2-901	2-25	0-011	1-96	0-29

## Station D.

le	Profondeur ms	Température °C	Cl ‰	Sal ‰	pH	Alcalinité totale 1/1000 d' équ.	Al/Cl	Alcalinité des borates 1/1000 d' équ.
3/X	0	22.50	20.52	37.07	8.24	2.657	0.1294	0.125
	10	22.46	20.85	37.66	8.24	2.657	0.1274	0.127
	40	15.36	21.14	38.19	8.24	2.649	0.1250	0.119
	70	14.73	21.22	38.33	8.23	2.657	0.1251	0.117
	90	13.56	21.18	38.26	8.21	2.655	0.1254	0.111
23/X	0	20.10	20.98	37.90	8.23	2.657	0.1266	0.126
	10	20.08	20.98	37.90	8.23	2.657	0.1266	0.126
	40	19.88	21.03	37.99	8.23	2.663	0.1265	0.126
	70	15.66	21.35	38.57	8.23	2.669	0.1248	0.119
	90	14.86	21.20	38.30	8.23	2.669	0.1257	0.117
19/XI	0	17.49	19.40	35.05	8.21	2.683	0.1378	0.106
	10	18.78	21.00	37.94	8.23	2.676	0.1274	0.124
	40	18.78	21.04	38.01	8.22	2.673	0.1272	0.121
	70	18.68	21.07	38.06	8.21	2.676	0.1270	0.119
	90	17.88	21.08	38.08	8.21	2.675	0.1240	0.118
7/XII	0	15.48	19.90	35.95	8.21	2.705	0.1359	0.106
	10	16.61	20.66	37.32	8.22	2.675	0.1294	0.116
	40	16.70	20.94	37.83	8.22	2.677	0.1278	0.118
	70	16.60	21.25	38.39	8.22	2.678	0.1265	0.119
	90	14.27	21.26	38.40	8.21	2.677	0.1258	0.112
28/XII	0	14.58	19.94	36.02	8.23	2.687	0.1347	0.108
	10	16.04	20.75	37.48	8.23	2.683	0.1292	0.116
	40	16.58	21.00	37.94	8.22	2.683	0.1277	0.117
	70	16.58	21.07	38.07	8.21	2.681	0.1272	0.115
	90	16.43	21.12	38.15	8.21	2.681	0.1270	0.115

## Station D.

Alcalinité des carbonates $\frac{1}{1000}$ d' équ.	Ca CO <sub>3</sub> mgrs in l.	g Ca CO <sub>3</sub> kg Sal	p CO <sub>2</sub> $\frac{1}{10000}$ d' Atm.	$\Sigma$ CO <sub>2</sub> $\frac{1}{1000}$ de Mol	c CO <sub>2</sub> $\frac{1}{1000}$ de Mol	cH CO <sub>3</sub> ' $\frac{1}{1000}$ de Mol	c CO <sub>3</sub> " $\frac{1}{1000}$ de Mol
2532	126.60	3.415	2.947	2.18	0.009	1.81	0.36
2530	126.50	3.359	2.921	2.18	0.009	1.81	0.36
2530	126.50	3.313	2.718	2.24	0.010	1.93	0.30
2540	127.00	3.313	2.849	2.25	0.011	1.94	0.30
2544	127.20	3.325	2.966	2.27	0.012	1.97	0.29
2532	126.60	3.338	2.944	2.20	0.010	1.85	0.34
2531	126.55	3.338	2.944	2.20	0.010	1.85	0.34
2537	126.85	3.338	2.944	2.21	0.010	1.86	0.34
2550	127.50	3.306	2.867	2.25	0.011	1.93	0.31
2552	127.60	2.329	2.865	2.26	0.011	1.95	0.30
2577	128.85	3.685	3.205	2.29	0.011	1.99	0.29
2552	127.60	3.363	2.963	2.22	0.010	1.87	0.34
2552	127.60	3.357	3.026	2.22	0.010	1.87	0.34
2557	127.85	3.357	3.098	2.24	0.011	1.90	0.33
2557	127.85	3.357	3.095	2.26	0.011	1.94	0.31
2599	129.95	3.614	3.16	2.31	0.012	2.01	0.29
2559	127.95	3.445	3.02	2.26	0.011	1.94	0.31
2559	127.95	3.382	3.00	2.26	0.011	1.94	0.31
2559	127.95	3.331	2.98	2.26	0.011	1.94	0.31
2565	128.25	3.339	3.01	2.29	0.012	1.99	0.29
2579	128.95	3.580	2.967	2.29	0.011	1.98	0.30
2567	128.35	3.432	2.944	2.27	0.011	1.95	0.31
2566	128.30	3.382	3.002	2.27	0.011	1.95	0.31
2566	128.30	3.370	3.063	2.27	0.011	1.96	0.30
2566	128.30	3.363	3.065	2.28	0.011	1.97	0.30

## Station A.

le	Profondeur ms	Température °C	Cl ‰	Sal ‰	p H	Alcalinité totale 1/1000 d' équ.	Al/Cl	Alcalinité des borates 1/1000 d' équ.
4/I	0	11.20	17.73	32.03	8.20	2.753	0.1552	0.078
	30	14.48	20.52	37.07	8.24	2.705	0.1318	0.114
8/II	0	9.97	19.96	36.06	8.22	2.749	0.1377	0.097
	30	12.18	20.64	37.29	8.20	2.960	0.1426	0.102
23/II	0	10.59	19.89	35.93	8.18	2.761	0.1388	0.089
	30	11.25	20.74	37.47	8.20	2.731	0.1316	0.100
23/III	0	12.08	18.50	33.42	8.23	2.655	0.1433	0.086
	30	12.18	20.70	37.39	8.20	2.663	0.1286	0.102
12/IV	0	13.88	18.42	33.28	8.25	2.677	0.1453	0.093
	30	12.78	20.71	37.41	8.23	2.663	0.1285	0.110
6/V	0	18.20	18.51	33.44	8.25	2.662	0.1437	0.099
	30	14.44	20.75	37.48	8.22	2.662	0.1282	0.111
23/V	0	20.80	18.98	34.29	8.29	2.664	0.1403	0.125
	30	16.09	20.70	37.39	8.24	2.664	0.1287	0.118
19/VI	0	21.20	19.27	34.81	8.29	2.684	0.1392	0.126
	30	14.98	20.93	37.81	8.24	2.683	0.1280	0.118
6/VII	0	22.08	20.05	36.22	8.28	2.665	0.1329	0.130
	30	15.18	20.92	37.79	8.25	2.665	0.1274	0.120
8/VIII	0	24.80	20.51	37.05	8.25	2.675	0.1303	0.127
	30	14.98	21.04	38.01	8.24	2.657	0.1262	0.118
22/VIII	0	23.70	20.45	36.94	8.24	2.691	0.1315	0.125
	30	14.96	21.04	38.01	8.24	2.661	0.1264	0.118
17/IX	0	22.60	20.26	36.60	8.23	2.685	0.1323	0.122
	30	15.31	21.05	38.03	8.24	2.657	0.1262	0.118
3/X	0	22.68	20.61	37.23	8.23	2.657	0.1288	0.124
	30	19.55	20.78	37.54	8.22	2.657	0.1278	0.122
23/X	0	19.04	20.77	37.52	8.22	2.675	0.1287	0.121
	30	18.76	20.77	37.52	8.22	2.667	0.1282	0.121
19/XI	0	16.87	18.50	33.42	8.20	2.703	0.1460	0.087
	30	18.45	20.71	37.41	8.22	2.675	0.1291	0.119
7/XII	0	12.88	18.09	32.68	8.21	2.723	0.1504	0.083
	30	17.04	20.75	37.48	8.23	2.685	0.1293	0.118
28/XII	0	10.81	15.59	28.17	8.21	2.785	0.1768	0.064
	30	16.78	20.89	37.74	8.23	2.665	0.1275	0.119

## Station A.

Alcalinité des carbonates $\frac{1}{1000}$ d' équ.	Ca CO <sub>3</sub> mgrs in l.	$\frac{g \text{ Ca CO}_3}{kg \text{ Sal}}$	p CO <sub>2</sub> $\frac{1}{10000}$ d' Atm.	$\Sigma \text{ CO}_2$ $\frac{1}{1000}$ de Mol	c CO <sub>2</sub> $\frac{1}{1000}$ de Mol	c HCO <sub>3</sub> ' $\frac{1}{1000}$ de Mol	c CO <sub>3</sub> " $\frac{1}{1000}$ de Mol
2·675	133·75	4·179	3·383	2·42	0·015	2·15	0·26
2·591	129·55	3·493	2·879	2·30	0·012	1·98	0·31
2·652	132·60	3·677	3·012	2·39	0·014	2·11	0·27
2·858	142·90	3·833	3·404	2·56	0·014	2·25	0·30
2·672	133·60	3·718	3·362	2·42	0·015	2·15	0·26
2·631	131·55	3·511	3·105	2·37	0·014	2·09	0·27
2·569	128·45	3·485	3·023	2·31	0·013	2·03	0·27
2·561	128·05	3·424	3·054	2·36	0·013	2·02	0·27
2·584	129·20	3·882	2·883	2·27	0·012	2·00	0·29
2·553	127·65	3·411	2·854	2·27	0·012	1·97	0·29
2·563	128·15	3·832	2·903	2·25	0·010	1·91	0·33
2·551	127·05	3·389	2·954	2·27	0·012	1·97	0·29
2·539	126·95	3·702	2·441	2·155	0·010	1·82	0·36
2·546	127·30	3·404	2·845	2·24	0·010	1·92	0·31
2·558	127·90	3·674	2·491	2·19	0·008	1·83	0·36
2·565	128·25	3·392	2·898	2·27	0·011	1·95	0·31
2·535	126·75	3·496	2·680	2·17	0·009	1·80	0·37
2·545	127·25	3·367	2·734	2·24	0·010	1·92	0·31
2·548	127·40	3·439	2·944	2·17	0·008	1·78	0·38
2·539	126·95	4·340	2·793	2·24	0·011	1·93	0·30
2·566	128·30	3·473	3·017	2·21	0·009	1·84	0·36
2·543	127·15	3·345	2·799	2·25	0·011	1·94	0·30
2·563	128·15	3·501	3·080	2·22	0·010	1·86	0·35
2·539	126·95	3·346	2·791	2·24	0·011	1·93	0·30
2·533	126·65	3·401	3·033	2·19	0·010	1·82	0·36
2·535	126·75	3·376	3·025	2·20	0·010	1·85	0·34
2·554	127·70	3·404	3·029	2·22	0·010	1·87	0·34
2·546	127·30	3·393	3·038	2·22	0·010	1·88	0·33
2·616	130·80	3·914	3·446	2·34	0·013	2·04	0·29
2·556	127·80	3·683	3·035	2·25	0·010	1·92	0·31
2·640	132·00	4·039	3·304	2·37	0·014	2·10	0·27
2·567	128·35	3·424	2·956	2·23	0·011	1·94	0·31
2·721	136·05	4·830	3·485	2·46	0·016	2·16	0·28
2·546	127·30	3·373	2·925	2·24	0·011	1·92	0·31

## Table de matières

Introduction . . . . .	3
Première partie	
Recherches sur l'alcalinité . . . . .	7
Preliminaires . . . . .	7
Température, salinité, production phytoplantonique . . . . .	9
Alcalinité totale (alcalinité de titration) . . . . .	14
Alcalinité spécifique . . . . .	17
Alcalinité des borates . . . . .	20
La teneur absolue en carbonate de chaux . . . . .	24
La teneur relative en carbonate de chaux . . . . .	28
Discussion des résultats . . . . .	30
Les causes de variations de la teneur relative en carbonate de chaux . . . . .	32
Les causes de variations de la teneur absolue en carbonate de chaux . . . . .	38
Les causes de variations de la teneur en borates . . . . .	42
Deuxième partie	
Recherches sur l'équilibre de l'acide carbonique . . . . .	43
Preliminaires . . . . .	43
La concentration en ion hydrogène (le pH) . . . . .	46
La tension de l'acide carbonique ( $p\text{CO}_2$ ) . . . . .	49
L'acide carbonique total ( $\Sigma\text{CO}_2$ ) . . . . .	52
Discussion des résultats . . . . .	57
Les causes de variation du pH et de la tension de $\text{CO}_2$ . . . . .	57
Les causes de variations de l'acide carbonique total et de ses composantes . . . . .	64
Aperçu sommaire des résultats . . . . .	67
Bibliographie . . . . .	71
Tableaux . . . . .	75