

ÉTUDE DU PHOSPHORE DANS LES SÉDIMENTS OSTRÉICOLES DU BASSIN DES CHASSES DES SABLES D'OLONNE

par Michelle FEUILLET ⁽¹⁾

I. - Importance biologique du phosphore.

Le phosphore tient une place de toute première importance dans le monde vivant, il se trouve engagé dans différentes combinaisons organiques et son rôle dans différents métabolismes n'est plus à démontrer (lipides-glucides).

Sa distribution dans le milieu marin a été largement étudiée. La concentration en phosphates a tendance à être inversement proportionnelle à la production de phytoplancton (LELOUP, 1960). Les phosphates minéraux présents dans l'eau de mer constituent la principale source de phosphore pour la vie qu'elle héberge. Leur circulation métabolique à travers le milieu marin a été élucidée par OKUDA (1960). Les échanges d'éléments nutritifs entre les sédiments et l'eau ont été mis en évidence par de nombreux chercheurs (EMERY, RITTENBERG et ORR, 1952). Nous avons cherché à préciser la diffusion du phosphore des sédiments dans l'eau interstitielle et dans l'eau sus-jacente ou la diffusion inverse ainsi que le gradient de concentration qui en résulte. Il nous a paru primordial de préciser la dynamique du phosphore dans ce milieu, avant de procéder à l'application d'engrais phosphatés.

II. - La zone étudiée, sa situation géographique.

Le bassin des Chasses des Sables d'Olonne, déjà décrit dans des publications antérieures, se trouve situé à l'arrière du port des Sables. C'est un bassin d'emmagasinement d'eau salée où l'ostréiculture est pratiquée depuis 1870. Le choix des zones de prélèvements n'a pas été effectué au hasard, mais avec l'objectif de comparer les parties du bassin se distinguant par des rendements huîtres différents. La répartition géographique des parcs est indiquée sur la figure 1. Nous devons signaler, qu'ici, les parcs sont légèrement creusés en bassins où il reste parfois 10 à 15 cm d'eau, lors de la mise à sec. Nous avons distingué trois stations I-II-III. Les stations II et III se trouvent en amont du bassin et sont entourées de deux chenaux qui convergent au centre de ce bassin.

Les eaux de ces chenaux sont constituées d'eaux douces provenant de la Vertonne (lorsque l'écluse est ouverte), et d'eaux d'écoulement en provenance des marais environnants, éventuellement plus ou moins saumâtres en certaines périodes. Près de la station II, au sein même du ruisseau, affleurent des schistes antécambriens qui font partie de la faille des Sables d'Olonne (TERS, 1961). Le parc appelé BR est situé près de ce chenal et présente un rendement huître particulièrement bon. Nous l'avons comparé à un autre parc de la même station qui se trouve un peu plus éloigné du chenal.

La station III se trouve au même niveau, mais diamétralement opposée à la station II. La station I représente une unité, localement appelée l'île, un bras du chenal central entoure effectivement cette station et l'isole en îlot. Deux parcs de cette station ont été choisis en fonction de la différence granulométrique de leurs sédiments et sont appelés parcs Is et Iv.

(1) L'auteur tient à remercier M. Claude COUPEAU, du Centre de La Rochelle, qui a réalisé les graphiques illustrant ce travail.

III. - Etat du phosphore dans l'eau de mer et les eaux interstitielles.

L'eau de mer.

Le phosphore de l'écosystème que forme le milieu marin se trouve sous différentes formes :

des ions phosphates diffusibles, en partie réversiblement adsorbés sur ou dans les sédiments, en partie en solution,

du phosphore organique en solution,

du phosphore non diffusible, en phase solide, pouvant comprendre des phosphates minéraux cristallisés, des ions phosphates occlus dans des pores internes, sans communication actuelle avec l'eau extérieure, et du phosphore organique.

Nous n'avons considéré jusqu'à présent dans cette étude que le phosphore en solution inorganique et organique et le phosphore particulaire susceptible de réagir en 5 mn avec le molybdate acidifié (MURPHY et RILEY, 1962). Ce dernier procédé sépare les ions phosphates superficiellement adsorbés ainsi que des phosphates cristallisés, calciques notamment, au pH considéré. Le phosphore organique en solution dérive de la décomposition des oses (phosphates hydrolysables à froid en milieu acide). Les phosphates des particules en suspension de l'eau de mer comprennent les phosphates de calcium et des phosphates éventuellement complexes de divers métaux (SKIRROW et RILEY, 1965).

L'eau interstitielle.

L'eau interstitielle est par définition le siège des transferts d'éléments entre la vase et la couche d'eau sus-jacente. Cette couche varie de 50 cm à 2 m au cours de l'alimentation du bassin. La vaste étendue des surfaces de contact entre les fines particules de vase et l'eau facilite les transferts de molécules ou les échanges d'ions des unes à l'autre.

Les ions PO_4^{---} réversiblement retenus à la surface des colloïdes minéraux, argiles et hydroxydes de fer et d'aluminium notamment et par les particules de calcaire demeurent animés de mouvements de diffusion, par agitation thermique comme le prouve l'existence d'échanges isotopiques permanents entre les phases solide et liquide (BARBIER, 1956). Ces ions constituent ce que l'on peut appeler le pool des ions PO_4^{---} diffusibles. Chacun d'eux passe une partie de son temps dans la solution en contact et le reste sur ou dans les particules solides. L'eau interstitielle a été extraite par centrifugation à la vitesse de rotation de 3 500 t/mn, ce qui correspond à une vitesse d'accélération des 2 710 g.

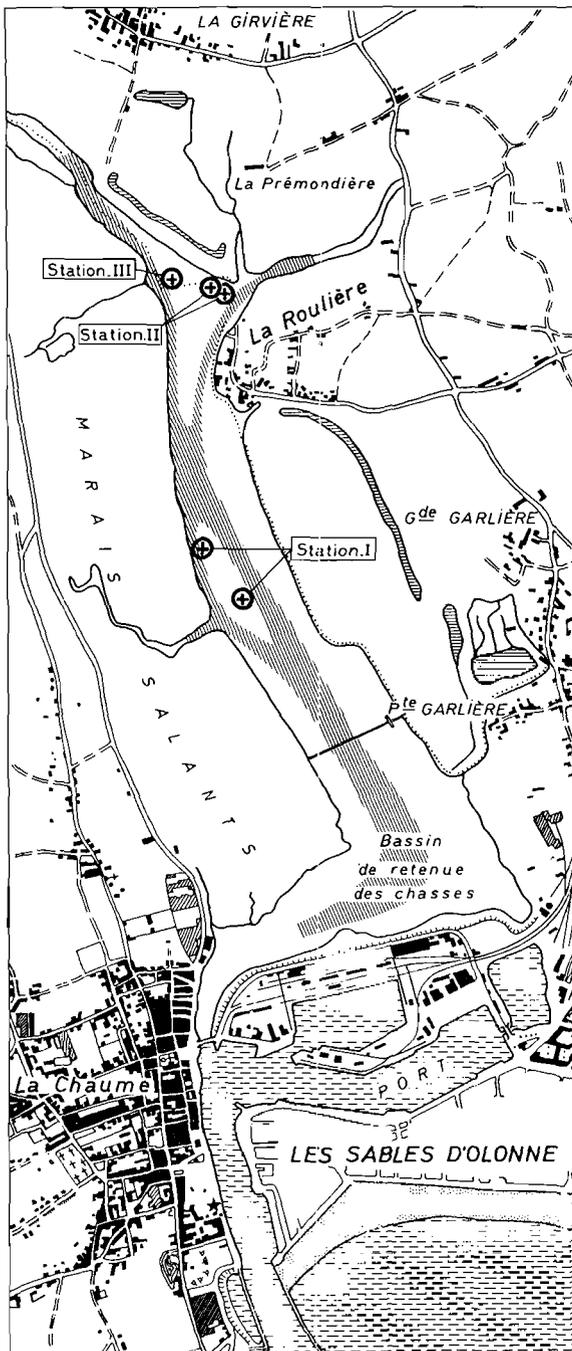


FIG. 1. — Le Bassin des Chasses des Sables d'Olonne ; répartition géographique des parcs.

IV. - Variations saisonnières de la teneur en phosphates dans l'eau des parcs et dans les eaux interstitielles.

L'eau des parcs.

Les diagrammes relatifs à la variation saisonnière de la teneur en phosphates dans l'eau sus-jacente au sédiment sont analogues pour les parcs se trouvant en amont du bassin. Les eaux des parcs situés en aval présentent quelques différences quantitatives ; elles sont plus riches en phosphates inorganiques. Les valeurs maxima se rencontrent à l'automne et au printemps.

L'eau interstitielle.

Les teneurs les plus fortes en phosphates apparaissent en hiver, on constate un appauvrissement en mai, au moment où les poussées phytoplanctoniques sont les plus importantes. Cet appauvrissement est très net, sauf en deux points de prélèvement ; il y a un décalage dans le temps de la teneur en phosphates inorganiques. Cela peut être dû à la température et à l'ensoleillement.

Les parcs situés en amont. Les parcs situés en amont du bassin se ressemblent. Détaillons l'un d'eux, par exemple le parc étudié dans la station III. Les courbes de répartition du phosphore tant au nord qu'au sud ainsi qu'au centre des parcs, présentent :

un maximum en octobre-novembre,

une chute en février,

une remontée en mars-avril,

une chute en mai, très prononcée et une nouvelle remontée en juin (fig. 2), un seul point III sud, ne présente pas la chute de mai.

Les parcs situés en aval. Les parcs Iv et Is ressemblent aux parcs Hi et III, mais avec décalage des teneurs au sein du même parc.

V. - Diffusion des éléments nutritifs phosphatés.

Sédiment.

La concentration en phosphates des eaux interstitielles du sédiment des parcs est trois fois plus forte que pour l'eau du bassin, les teneurs varient selon les parcs et les points envisagés dans chacun d'eux. La plus grande valeur mesurée atteint $30 \cdot 10^{-6}$ at.g/l. Ces valeurs sont comparables à celles trouvées dans le bassin de Santa-Barbara (EMERY, RITTENBERG et ORR, 1955). Le phosphore total dans les sédiments présente une teneur allant de 0,17 à 1,8 ‰ ; la valeur rencontrée le plus souvent est de 0,9 ‰ (en poids sec). Les valeurs de 1,8 ‰ ne sont pas rares dans un sol agricole de bon rendement. Les rapports de l'azote total au phosphore total sont en moyenne de 1,6.

L'eau interstitielle.

Les eaux interstitielles de la couche supérieure du sédiment ont une concentration en phosphates inorganiques plus forte que celle de l'eau sus-jacente (fig. 2).

L'eau du parc.

L'eau recouvrant chaque parc étudié entre 0 (à partir du fond) et 10 cm a une teneur plus élevée que celle qui se trouve entre 10 et 50 cm. Les teneurs vont de 10 à $3 \cdot 10^{-6}$ at.g/l. et 3 à $1 \cdot 10^{-6}$ at.g/l. Sur une faible colonne d'eau (50 cm de haut) nous assistons à une décroissance de la teneur en phosphates. Ce gradient montre que la régénération est active au sein du sédiment des parcs et que la diffusion assure le passage du phosphate du sédiment à l'eau sus-jacente.

VI. - Le problème d'échange.

L'échange du phosphore entre l'eau et les sédiments a été étudié par plusieurs auteurs (MOORE, 1950 ; COOPER et ROCHFORD, 1951 ; HAYES et PHILLIPS, 1958 ; OLSEN, 1964 ; POMREROY, SMITH et GRANT, 1965).

L'intensité et la cinétique de ce phénomène dépendent de nombreux facteurs tels que la température, le potentiel d'oxydo-réduction, la teneur en fer et le calcium.

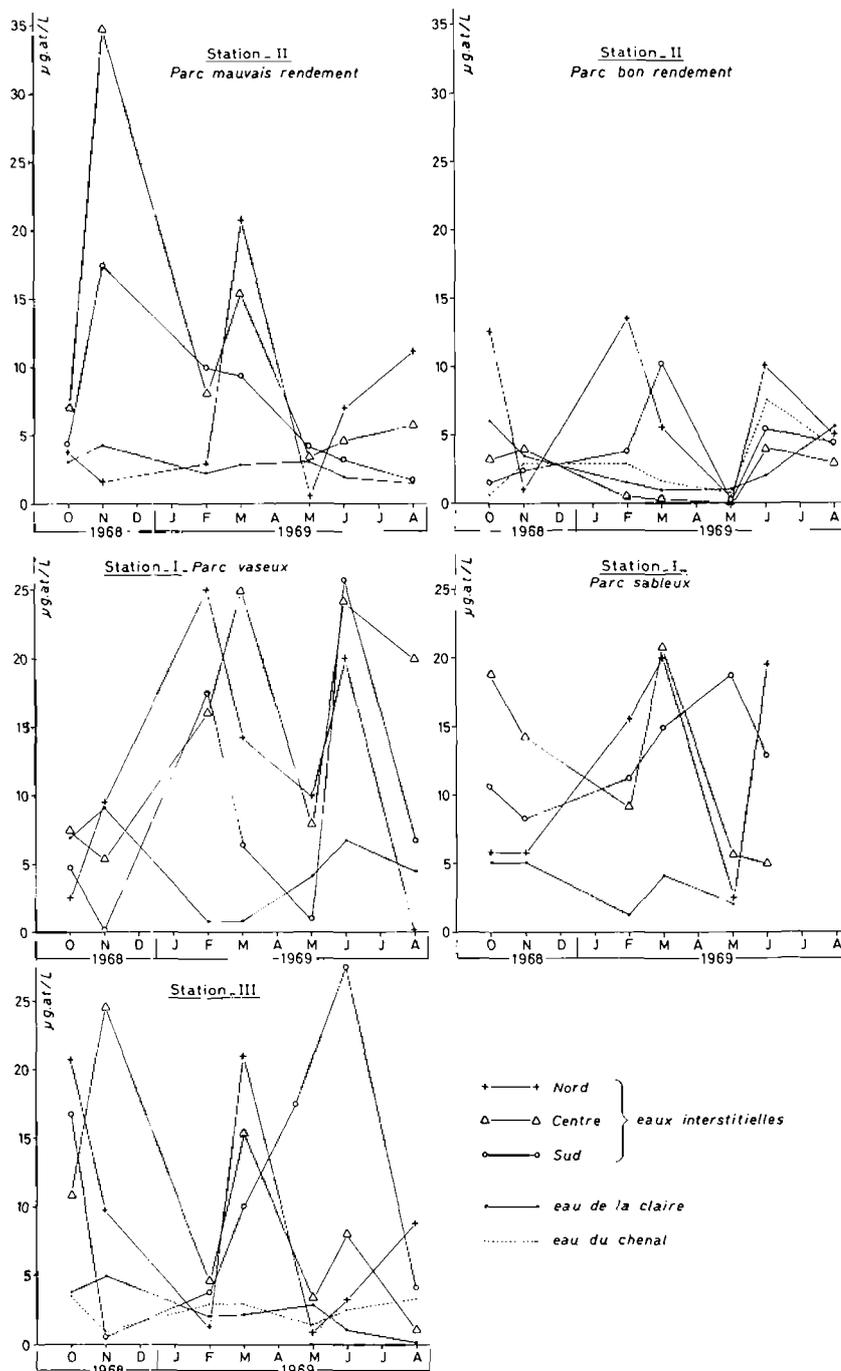


FIG. 2. — Courbes de répartition du phosphore dans les différents parcs étudiés et aux périodes considérées.

Les sédiments que nous avons étudiés sont des sédiments fortement réduits, ce qui facilite la libération du phosphore, celle-ci étant le passage de l'état non diffusible à l'état diffusible (OLSEN).

1964). OLSEN démontre qu'en dessous de 2 µg de phosphore par millilitre aucune adsorption ne se fera par le sédiment. En période de stagnation, l'échange et la diffusion seraient seuls assurés.

L'étude de la dynamique du phosphore dans les parcs serait largement facilitée par l'emploi de l'isotope P₃₂ comme elle l'a été dans tout autre milieu naturel. Le marquage isotopique permettrait en particulier de repérer l'origine du phosphore dans les sédiments qui est actuellement en pool avec l'eau interstitielle.

VII. - Etat du phosphore dans les sédiments.

La distribution du phosphore dans les sédiments est contrôlée principalement par :
la teneur en phosphore du matériel de source minérale.

Profils	Station I				Station III		Station II			
	Parc sableux		Parc vaseux		parc III		Parc BR		Parc MR	
	forme A	forme B	forme A	forme B	forme A	forme B	forme A	forme B	forme A	forme B
nord										
0 - 5 cm	0,2140	0,3146	0,0750	0,4870	0,0045	0,0020	0,1140	0,0020	0,0448	0,2610
5 - 10 cm	0,0138	0,5898	0,0450	0,0010		0,2852	0,0250	0,2590	0,0407	0,3120
10 - 15 cm	0,0240	0,2813	0,0144	0,2290			0,0222	0,1950	0,0535	0,1940
15 - 20 cm	0,0350	0,5148	0,0182	0,5190	0,0260	0,425	0,1262	0,2480	0,0067	0,2720
centre										
0 - 5 cm	0,0120	0,3435	0,0177	0,2410	0,0012	0,2832	0,0090	0,1140	0,0530	0,1600
5 - 10 cm	0,0060	0,2436	0,08683		0,0048	0,5960	0,0160	0,0730	0,0321	0,6700
10 - 15 cm	0,0100	0,1305	0,0089	0,0670	0,0170	0,4280	0,0199	0,1410	0,0211	0,1590
15 - 20 cm	0,0150	0,2900	—	—	0,0180	1,4640	0,0290	0	0,0346	0,0780
sud										
0 - 5 cm	0,0190	0,2041	0,0232	0,3842	0,0031	0,4460	0,0090	0,1650	0,028	0,1870
5 - 10 cm	0,0200	0,2761			0,019	0,4280	0,0290	0,4510	0,012	0,2460
10 - 15 cm	0,0227	0,3782	0,0022	0,3121	0,021	0,0042	0,1191	0,6110	0,0095	0,3960
15 - 20 cm	0,0330	0,2136	0	0,0920	0,0086	0,0711	0,1470	0,2520	0,0070	0,0250

TABL. 1. — Comparaison des teneurs en phosphates des formes A et B dans cinq parcs de position géographique différente, en une même période (automne) ; BR : bon rendement, MR : mauvais rendement. Les résultats sont exprimés en ‰ de sédiments secs.

la concentration et l'état de dispersion des composés de fer et de manganèse à la surface du sédiment,

la dilution de la matière biogène et sa redistribution chimique à l'intérieur du sédiment (ARRHÉNIUS in SKIRROW, 1952).

Les sédiments sont en général constitués d'un mélange de matériaux appartenant à des groupes géochimiques différents « hydrolysats-oxydats-precipiates-biolithes » (GOLDSMITH-POTONIE). Les recherches à l'aide du phosphore marqué par P₃₂ de G. BARBIER, entre autres, confirment que, pour chaque espèce d'ions retenus par les colloïdes du sol, des échanges permanents ont lieu entre ceux de la solution libre et ceux condensés sur ou dans les particules solides. En ce qui concerne les phosphates, ces ions dits isotopiquement échangeables, représentent la fraction diffusible du phosphore du sol. Lorsque l'équilibre est rompu dans ce système soit par un apport d'ions en solution, soit par prélèvement d'ions de la solution, l'équilibre se rétablit par diffusion. La distribution du phosphore des parcs peut être schématisée comme suit.

Phase liquide.

a) Phosphore dissous (orthophosphates surtout, composés organiques phosphorés, sucres, phosphates notamment).

Période automnale			Période printanière		
Parc vaseux			Parc vaseux		
Profil nord	forme A	forme B	Profil nord	forme A	forme B
0 - 5 cm	0,022	0,3225	0 - 5 cm	0,024	0,4231
5 - 10 cm	0,025	0,1652	5 - 10 cm	0,031	0,4276
10 - 15 cm	0,034	0,2135	10 - 15 cm	0,013	0,3047
15 - 20 cm	0,005	0,1761	15 - 20 cm	0,0297	0,0859
Profil centre	forme A	forme B	Profil centre	forme A	forme B
0 - 5 cm	0,005	0,2150	0 - 5 cm	—	—
5 - 10 cm	0,031	0,2200	5 - 10 cm	—	—
10 - 15 cm	0,007	0,0925	10 - 15 cm	—	—
15 - 20 cm	0,004	0,1825	15 - 20 cm	—	—
Profil sud	forme A	forme B	Profil sud	forme A	forme B
0 - 5 cm	0,016	—	0 - 5 cm	0,012	0,4623
5 - 10 cm	0,007	0,120	5 - 10 cm	0,0012	0,0730
10 - 15 cm	0,046	—	10 - 15 cm	0,023	0,2418
15 - 20 cm	0,036	0,202	15 - 20 cm	0,016	0,1457
Parc sableux			Parc sableux		
Profil nord	forme A	forme B	Profil nord	forme A	forme B
0 - 5 cm	0,016	0,4500	0 - 5 cm	0,023	0,1857
5 - 10 cm	0,26	0,1570	5 - 10 cm	0,017	0,1973
10 - 15 cm	0,33	0,487	10 - 15 cm	0,07	0,1701
15 - 20 cm	—	0,5415	15 - 20 cm	0,0144	0,3568
Profil centre	forme A	forme B	Profil centre	forme A	forme B
0 - 5 cm	0,045	0,3500	0 - 5 cm	0,022	0,3907
5 - 10 cm	0,126	0,9500	5 - 10 cm	—	—
10 - 15 cm	0,030	0,8000	10 - 15 cm	0,035	0,3594
15 - 20 cm	0,011	0,1900	15 - 20 cm	0,037	0,3644
Profil sud	forme A	forme B	Profil sud	forme A	forme B
0 - 5 cm	0	0,2367	0 - 5 cm	0,0200	0,3141
5 - 10 cm	0,32	0,3631	5 - 10 cm	0,0183	0,1281
10 - 15 cm	—	0,4214	10 - 15 cm	0,022	0,3563
15 - 20 cm	0,243	0,1584	15 - 20 cm	0,045	0,2655

TABLE. 2. — Comparaison des formes A et B, dans deux parcs dont la granulométrie diffère et en deux périodes différentes à la station I.

b) Phosphore des fines particules en suspension (sous les mêmes formes en principe que le phosphore du sédiment).

Phase solide (sédiment).

a) Orthophosphates minéraux : minéraux cristallisés natifs (apatite-vivianite), minéraux de néo-

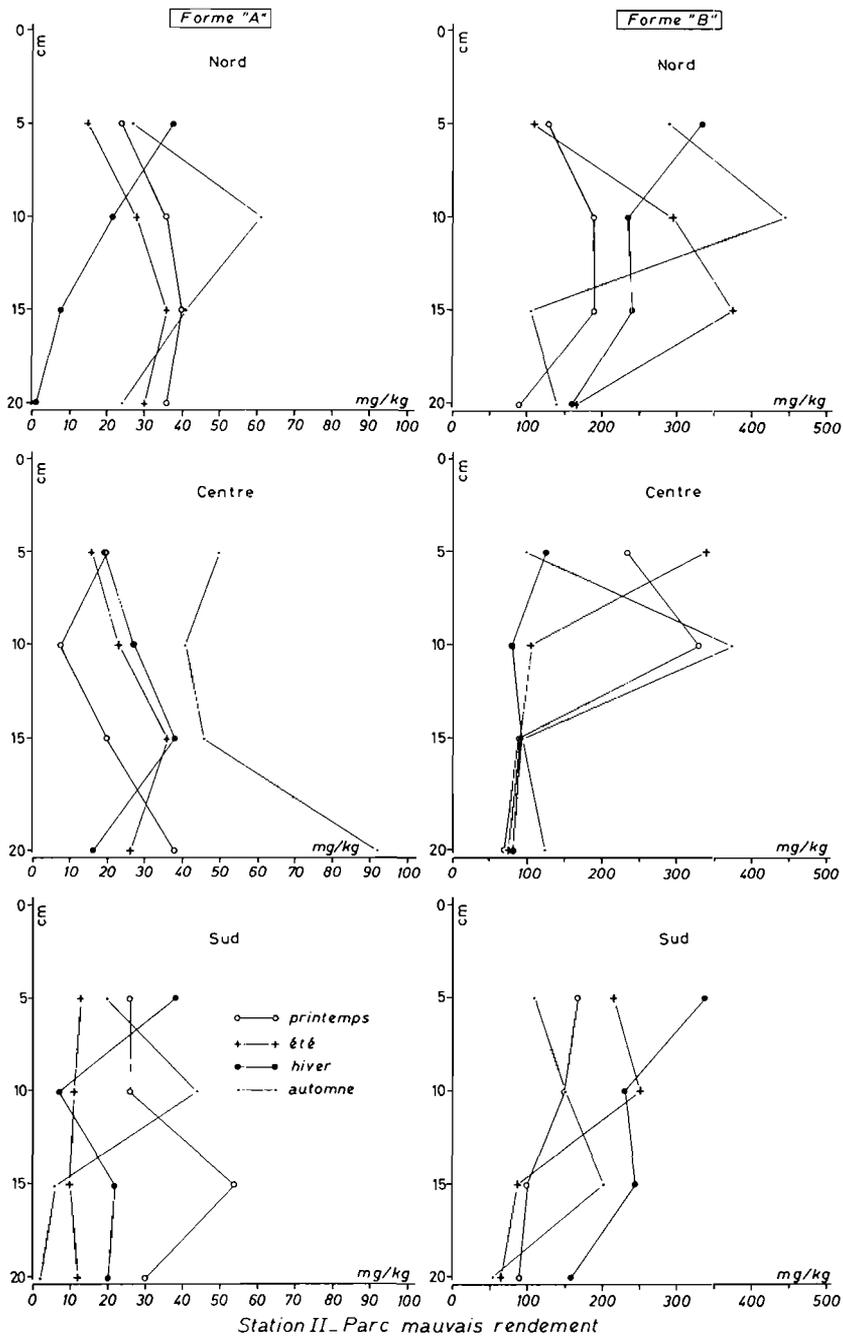


FIG. 3. — Teneurs saisonnières en phosphates rapidement désorbables (« forme A » par les acides dilués, « forme B » par les alcalis dilués) à la station II sur un parc de mauvais rendement.

formation plus ou moins cristallisés (phosphates de Ca ou phosphates mixtes de Ca, Fe, Al et ions phosphates adsorbés, isotopiquement échangeables).

b) Phosphore organique (phytinique et nucléique).

C'est entre ces deux phases, liquide et solide, que s'effectue le mouvement perpétuel du pool des ions PO_4 diffusibles.

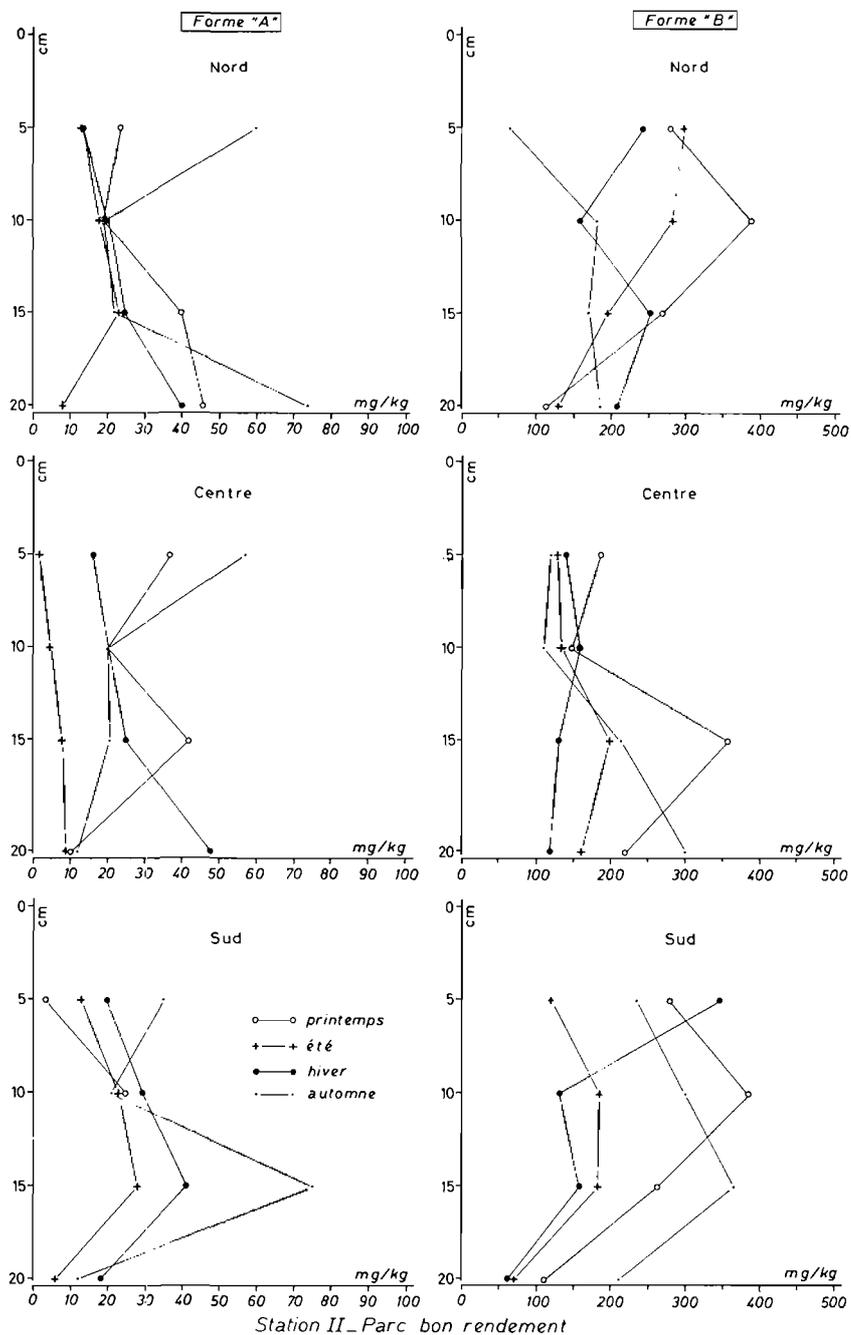


FIG. 4. — Teneurs saisonnières en phosphates rapidement désorbables (« forme A » par les acides dilués, « forme B » par les alcalis dilués) à la station II sur un parc de bon rendement.

En cas de prélèvements d'ions phosphates de Ca en solution par des organismes, le déficit est d'abord rapidement comblé par diffusion d'ions phosphates adsorbés sur les surfaces externes des particules solides, puis plus lentement par les autres formes de phosphore du sédiment.

Or, parmi les ions phosphates réversiblement adsorbés, on peut distinguer au moins deux formes : l'une rapidement désorbable par les acides dilués (forme A), l'autre rapidement désorbable par les alcalis dilués (forme B), (DEMOLON et BARBIER, 1929 ; BARBIER et CHABANNES, 1953). L'adsorption de PO₄ sous la forme A paraît liée à celle des cations métalliques échangeables, la forme B paraît retenue par les sesquioxydes. La forme A se mettrait plus rapidement que la forme B en équilibre avec la solution. Pour séparer ces deux formes nous avons utilisé jusqu'à présent la méthode de DUCHAUFOUR qui est une simplification de celle de CHANG et JACKSON qui permet de distinguer le phosphore adsorbé conjointement avec le calcium, du phosphore des phosphates calciques cristallisés.

Forme A.

Le phosphore extractible à l'acide n'est pas la fraction du phosphore inorganique dominante. La forme A (tabl. 1 et 2) ne diminue pas toujours avec la profondeur, elle aurait plutôt, dans certains profils, tendance à augmenter avec celle-ci (fig. 3 et 4). Plusieurs carottes présentent une très faible teneur entre 0 et 5 centimètres : 0,0072 mg/kg contre 300 et 400 mg/kg aux autres niveaux. Les faibles

Profil Nord																	
Mois prélève- ments	de 0 à 5 cm					de 5 à 10 cm				de 10 à 15 cm				de 15 à 20 cm			
	pH	Eh	PEi µgat/l	PO ₄ forme A ‰	PO ₄ forme B ‰	pH	Eh	PO ₄ forme A ‰	PO ₄ forme B ‰	pH	Eh	PO ₄ forme A ‰	PO ₄ forme B ‰	pH	Eh	PO ₄ forme A ‰	PO ₄ forme B ‰
Octobre	7,2	-60	4,40	0,011	0,3151	7,4	-60	0,0819	0,5800	7,2	-70	0,0742	0,0270	7,3	-70	0,0427	0,009
Novembre	6,9	+60	1,725	0,0448	0,261	7,1	+100	0,0407	0,312	7,2	+100	0,0535	0,1940	7,3	+60	0,0067	0,272
Février	6,6	+50	2,75	0,0272	0,2470	6,8	+20	0,035	0,2131	6,2	0	0,933	0,0150				
Mars	7	40	22,18	0,051	0,4246	7,1	-50	0,0105	0,2525	7,2	50	0,1555	0,2403	7,1	+40	0,0009	0,1596
Mai	7,4	20	0,91	0,028	0,0347	7,3	-80	0,029	0,2812	7,2	-10	0,0378	0,4737	7,3	-10	0,038	0,1626
Juin	7,2	-140	7,33	0,0181	0,2044	7,3	-30	0,0432	0,3152	7,3	70	0,0421	0,2762	7,2	-20	0,0316	0,1760
Juillet	7,4	20	11,9	0,0143	0,1293	7,3	-80	0,0291	0,1962			0,0373	0,1924	7,2	-10	0,0300	0,0867
Profil Centre																	
Octobre	7,2	-10	7,15	0,0475	0,0410	7,2	-20	0,0500	0,0826	7,3	-50	0,0742	0,0270	7,2	-70	0,1504	0,1749
Novembre	7,2	+20	29,15	0,0530	0,1600	7,3	740	0,0321	0,6700	7,4	420	0,0211	0,159	7,4	-40	0,0346	0,078
Février	6,8	-20	7,70	0,022	0,03160	6,8	-50	0,052	0,0773	6,9	-60	0,0306	0,0639	7,2	-60	0,0224	0,027
Mars	7,0	-40	16,5	0,0283	0,2208	7,1	-50	0,0025	0,0444	7,2	-50	0,0465	0,0771	7,2	-70	0,0126	0,0732
Mai	6,9	-120	5,30	0,0222	0,3155	7,2	-170	0,0112	0,1523	7,1	-150	0,027	0,0898	7	-30	0,0300	0,0664
Juin	7,4	-100	4,58	0,0190	0,144	7,3	-90	0,0079	0,5170	7,3	-140	0,013	0,0601	6,9	-100	0,047	0,049
Août	7,2	-140	1,650	0,0196	0,3411	7,2	-50	0,023	0,3411	7,2	-30	0,0338	0,1148	7,3	-30	0,0249	0,0504
Profil Sud																	
Octobre	7,2	-60	4,675	0,0125	0,05	7,2	-30	0,072	0,2651	7,2	-40	0,080	0,456	7,1	-70	0,0016	0,1559
Novembre	7	-40	15,675	0,0280	0,187	7,2	-10	0,012	0,246	7,3	+20	0,0095	0,3960	7,3	+40	0,0070	0,025
Février	7,25	-30	9,35	0,043	0,0391	7,2	-60	0,09	0,1562	7	+20	0,0231	0,1275	6,8	-40	0,0160	0,0347
Mars	7,1	-20	30,01	0,0311	0,2331	7,0	+30			6,8	+90	0,0214	0,0900	7,0	+80	0,021	0,1834
Mai	6,9	-160	4,7	0,0073	0,2839	6,4	-290	0,0118	0,2791	6,5	-250	0,0108	0,1554	6,5	-200	0,0270	0,1510
Juin	7,2	-100	3,66	0,043	0,1020	7,3	-110	0,040	0,070	7,2	-110	0,0010	0,0120	7,2	-40	0,0400	0,040
Août	6,8	+20	1,466	0,0115	0,2214	6,8	-20	0	0,2537	7,2	-20	0,1054	0,0893	7,2	0	0,0113	0,0381

TABL. 3. — Teneur saisonnière en phosphate, pH, Eh, des carottes du parc MR. Les niveaux choisis sont de : 0 à 5 cm, 5 à 10 cm, 10 à 15 cm, 15 à 20 cm. La teneur en phosphate des eaux interstitielles n'a été considérée que pour le niveau de 0 à 5 cm. (PEi = phosphore des eaux interstitielles).

teneurs peuvent être liées à la petite taille des particules (SCHEFFER et coll., WILLIAMS et SAUNDERS, 1960-1956), ce qui souligne l'importance de la granulométrie. Il est aussi possible, comme l'écrivent SYERS-SHAH et WALKER (1969), que Ca-P de l'argile soit partiellement protégé de la dissolution par les couches de sesquioxydes. Dans le parc de rendement particulièrement bon, on ne note pas une concentration plus élevée de la forme A. Nous n'avons pas noté de différence saisonnière de la teneur en phosphore dans les sédiments, seule l'hétérogénéité du terrain semble jouer un rôle. Cependant, dans les parcs étudiés, nous assistons à un déplacement du pH vers l'acidité durant les

périodes hivernale et printanière puis vers la basicité à l'été, avec des valeurs de 8,2-8,3. Ces valeurs estivales du pH indiquent qu'à cette période les phosphates calciques peuvent précipiter et évoluer vers la forme apatitique.

Forme B.

Dans les parcs étudiés au nord du bassin des Chasses, la forme B (extractible aux alcalis) diminue avec la profondeur (fig. 3 et 4), ceci correspond bien aux concrétionnements ferrugineux rencontrés, sauf à l'automne où la forme B a tendance à augmenter (tabl. 3 et 4), ce qui laisse supposer une peptisation des sesquioxydes éventuellement par réduction de l'hydrate ferrique au contact de la matière organique en fermentation.

Profil Nord																	
Mois	de 0 à 5 cm					de 5 à 10 cm				de 10 à 15 cm				de 15 à 20 cm			
	pH	Eh	PE _i μgat/l	PO ₄ forme A ‰	PO ₄ forme B ‰	pH	Eh	PO ₄ forme A ‰	PO ₄ forme B ‰	pH	Eh	PO ₄ forme A ‰	PO ₄ forme B ‰	pH	Eh	PO ₄ forme A ‰	PO ₄ forme B ‰
Octobre	6,8	-20	12,925	0,0070	0,0232	6,5	-50	0,018	0,1064	6,1	-40	0,0340	0,1459	6,8	0	0,030	0,1167
Novembre	7	-90	3,30	0,1140	0,0020	7,1	-30	0,025	0,2590	7,2	-20	0,0222	0,1950	7,2	+10	0,1262	0,2480
Février	7	0	13,75	0,0132	0,2696	7	-10	0,032	0,2044	7,1	-10	0,0240	0,2791	7,1	-10	0,0225	0,2130
Mars	7,1	-70	9,86	0,0152	0,3189	7	-40	0,0110	0,1176	7,1	0	0,0271	0,2324	6,8	+30	0,0577	0,2016
Mai	7,1	+20	0,18	0,0087	0,3211	6,9	+50	0,0111	0,3812	7,2	-40	0,0177	0,2132	7,1	-90	0,0677	0,1396
Juin	7	-90	10,08	0,0330	0,2376	7	-50	0,0290	0,3962	6,8	0	0,0500	0,3187	7,1	+10	0,021	0,087
août	7,2	-70	6,775	0,0140	0,2983	7,4	-50	0,1498	0,2839	7,4	-70	0,0223	0,1988	7,4	-50	0,0097	0,1322
Profil Centre																	
Octobre	7,2	-70	3,30	0,0660	0,1310	7,3	-120	0,036	0,1527	7,2	-70	0,2330	0,2929	7,1	-90	0,1700	0,3037
Novembre	7,2	-10	1,80	0,0090	0,1140	7,2	-70	0,016	0,0730	7,4	-20	0,0199	0,1410	7,5	-20	0,0290	0
Février	7,1	-20	—	0,0181	0,1375	6,9	-50	0,0900	0,2021	6,8	+140	0,0990	0,1728	6,8	+120	0,2075	0,1207
Mars	6,6	-40	0,55	0,1665	0,1500	6,6	-30	0,0152	0,1500	6,3	-20	0,1800	0,0920	6,5	-20	0,1216	0,1180
Mai	6,5	+50	0	0,0467	0,2296	6,6	+10	0,0325	0,0241	6,6	+20	0,0610	0,3923	6,7	-60	0,0169	0,1481
Juin	7	-220	6,41	0,0312	0,1500	7	-170	0,0076	0,2715	6,9	-100	0,0123	0,3213	6,8	-60	0,0041	0,3012
août	6,9	-150	5,86	0	0,12569	6,9	-200	0,0058	0,1327	6,9	-20	—	0,2074	6,8	+30	0,0129	0,1640
Profil Sud																	
Octobre	6,7	+10	2,17	0,0440	0,3100	6,8	-50	0,050	0,1671	7,2	-70	0,0440	0,3100	5,2	+150	0,1350	0,1704
Novembre	7,4	70	1,28	0,0090	0,1650	7,3	-60	0,029	0,4510	7,2	-20	0,1191	0,6110	7,2	-20	0,1470	0,2520
Février	7	0	—	0,0186	0,0835	7	-20	0,0324	0,2021	7	0	0,0377	0,1730	6,9	-20	0,0190	0,0401
Mars	6,5	+200	10,4	0,0220	0,6000	6,5	+10	0,0619	0,058	6,5	-10	0,0476	0,1390	6,5	0	—	0,0370
Mai	6,9	-100	0,11	0,0060	0,2126	7,2	-70	0,0329	0,0939	7,1	+10	—	0,1286	7,3	-40	0,0254	0,0080
Juin	7,2	-140	5,50	0,0060	0,1800	7,2	-70	0,0210	0,0670	7,1	-60	0,0120	0,2318	6,9	-20	0,055	0,2359
août	7,2	220	4,58	0,0110	0,1230	7,1	-20	0,0250	0,1860	7,2	-70	0,0223	0,1988	7,2	-50	0,0097	0,1322

TABLE 4. — Teneur saisonnière en phosphate, pH, Eh, des carottes du parc BR. Les niveaux choisis sont de : 0 à 5 cm, 5 à 10 cm, 10 à 15 cm, 15 à 20 cm. La teneur en phosphate des eaux interstitielles n'a été considérée que pour le niveau de 0 à 5 cm. (PE_i = phosphore des eaux interstitielles).

Nous notons presque toujours une concentration plus élevée de la forme liée aux sesquioxydes, que ce soit en surface ou à 20 cm de profondeur. CHU et CHANG (1965) ont déjà mentionné ces différences pour des sols dont la granulométrie présente un faible pourcentage de sable et de silts.

Relation EH-Forme B.

Notre milieu peut être assimilé à un sol submergé analogue, dans une certaine mesure, au gley des pédologues. Nous assistons dans un tel milieu à la transformation de fer ferrique en fer ferreux. La consommation de l'oxygène difficilement renouvelable par les organismes rendant le milieu réducteur, il suffit d'un très bref délai de submersion pour que ces conditions apparaissent (OSUGI, STRUGIS, AOMINE, 1962). Lors de l'assèchement, les conditions oxydantes réapparaissent et peuvent élever le pH.

Les abaissements de potentiel redox augmentent les formes labiles du phosphore (A et B), la concentration en phosphore croît lorsque le sol est submergé (AOKI, 1941). De ses observations

KAWAGUCHI conclut que, dans un sol submergé, la concentration en phosphore du sol croît avec le développement des conditions réductrices, lorsque le phosphate de fer est le principal constituant des phosphates. Les calculs du coefficient de corrélation montrent qu'il existe une relation inverse entre la forme B et le potentiel d'oxydo-réduction, le coefficient est négatif et faiblement significatif (-0.38).

Conclusion.

Nos observations ont permis d'établir un fait incontestable : la concentration en phosphore de l'eau interstitielle est très supérieure à celle de l'eau sus-jacente, jusqu'à plusieurs dizaines ou centaines de fois à certaines époques de l'année. Or, il n'est pas vraisemblable que ce gradient de concentration et le flux de phosphore qui en résulte puissent être entretenus par des processus purement minéraux, le contact prolongé des sédiments avec l'eau doit en effet avoir conduit à l'équilibre de dissolution des phosphates natifs. Il apparaît ainsi qu'en milieu marin comme dans les sols terrestres les organismes interviennent activement dans la libération du phosphore, soit par attaque de phosphates minéraux cristallisés, soit par hydrolyse de composés organiques phosphorés (BARBIER et coll., non encore publié). Cependant, à certaines époques de l'année où la croissance du phytoplancton est particulièrement intense la consommation de phosphore diffusible n'est plus suffisamment compensée et la concentration en phosphore s'abaisse fortement.

Ce dernier point serait à considérer dans l'établissement d'expériences de fumures phosphatées des parcs, en ce qui concerne la date ou les dates d'application des engrais phosphatés solubles.

BIBLIOGRAPHIE

- AOKI (M.), 1941. — The behavior of soil phosphoric acid under paddy field conditions. — *J. Sci. Soil. Tokyo*, **15** : 182-202.
- AOMINE (S.), 1962. — A review of research on redox potentials of paddy soils in Japan. — *Soil. Sci.*, **94** : 258-262.
- BARBIER (G.), 1956. — Introduction à l'étude des phosphates du sol. — *VI^e Congr. Internat. science du sol.*
- BARBIER (G.), CHABANNES (J.) et TYSZKIEWIEZ (E.), 1953. — Quelques aspects généraux du problème des fumures phosphatées. — *B.T.I.*, **81** : 521-529.
- CALLAME (B.), 1961. — Echange de phosphates entre l'eau interstitielle des sédiments marins et l'eau qui les recouvre. — *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, N° **1201**.
- CHANG (S.C.) et JACKSON (M.L.), 1957. — Fractionation of soil phosphorus. — *Soil. Sci.*, **84** : 133-144.
- EGAWA (T.), NOGAI (K.) et SATO (A.), 1951. — Tracing the behavior of phosphorus added to water-logged soil preliminary experiment with radioactive phosphorus. — *J. Sci. Soil. Tokyo*, **22** : 61-63.
- EMERY (K.O.), ORR (W.L.), RITTENBERG (S.C.), 1955. — Regeneration of nutrient in sediments of marine basins. — *Deep-Sea Res.*, **13** : 23 p.
- GACHON (L.), 1968. — Le Phosphore. — *B.T.I.*, **231** : 579-586.
- HARVEY (H.W.), 1963. — The chemistry and fertility of sea-waters. — *Univ. Press, Cambridge*, 240 p., 65 fig., 28 tabl.
- MORTIMER (C.M.), 1941. — The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. — *J. Ecology.*, **39**, N° 2 : 280-329.
- OKUDA (T.), 1960. — Metabolic circulation of phosphorus and nitrogen in Matshushima Bay (Japan) with special reference to exchange of these elements between sea-water and sediments. — *Trabal. Inst. biol. Mar. oceanogr.*, **2** (1) : 7-153.
- OLSEN (S.), 1958. — Phosphate adsorption and isotopic exchange in lake muds. — *Verh. Internat. Ver. Limnol.*, **13**.
— 1964. — Phosphate equilibrium between reduced sediments and water. Laboratory experiments with radioactive phosphorus. — *Ibid.*, **15** : 333-341.
- PERKINS (A.), 1947. — Phosphate solubility in relation to cations and pH. Magnésium. — *Proc. Soil. Sci. Amer.*, **12** : 185-187.
- POMEROY (R.L.) et HASKIN (H.H.), 1951. — The uptake of radioactive phosphate ions by the Oyster *Crassostrea virginica* (GMEL) and their distribution in the tissues. — *Anat. Rec. vol.*, **111** : 150.
— 1954. — The uptake and utilization of phosphate ions from sea-water by the american oyster *Crassostrea virginica* (GMEL). — *Bio. bull.*, **107** : 122-129.
- POMEROY (R.L.), SMITH (E.E.) et GRANT (C.M.), 1965. — The exchange of phosphate between estuarine water and sediments. — *Limnol. and oceanogr.*, **10** (2) : 167-172.
- SHAPIRO (R.E.), 1958. — Effect of flooding on availability of phosphorus and nitrogen. — *Soil. Sci.*, **85** : 190-197.
- SYERS (J.K.), SHAH (R.) et WALKER (T.W.), 1969. — Fractionation of phosphorus in two alluvial soils and particles size separates. — *Soil. Sci.*, **108** : 283.