

Formes de Phosphore dans les Sédiments Aquatiques - Cas de la Retenue du Barrage Sidi Chahed -

Phosphorus Forms in Aquatic Sediments - Case of the Retaining Dam Sidi Chahed -

Ali DEHBI. Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de chimie, Equipe Chimie Analytique et Environnement, Meknès, Maroc	Adil LAMMINI Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de chimie, Equipe Chimie Analytique et Environnement, Meknès, Maroc	Hind OMARI Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de chimie, Equipe Chimie Analytique et Environnement, Meknès, Maroc	Abdelaziz ABDALLAOUI* Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Département de chimie, Equipe Chimie Analytique et Environnement, Meknès, Maroc	Abdellah EL HMAIDI Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknès, Département de Géologie, Equipe SEIE, Meknès, Maroc
--	--	--	---	--

*Corresponding author: a.abdallaoui@gmail.com

Résumé— La détermination des teneurs des différentes formes du phosphore dans les sédiments des retenues de barrage est d'une grande importance dans l'étude de phénomène de l'eutrophisation de ces plans d'eau, et constitue plus généralement, une contribution avantageuse à la compréhension du fonctionnement de ces milieux.

Le présent travail a pour objectif la détermination des différentes formes du phosphore des sédiments de la retenue de barrage Sidi Chahed (Maroc).

Le phosphore total a été dosé, après minéralisation du sédiment ($H_2SO_4/K_2S_2O_8$), selon la méthode de molybdate d'ammonium et l'acide ascorbique comme réactif de base. Le fractionnement du phosphore dans le sédiment est réalisé sur la fraction inférieure à 200 μm selon la méthode qui utilise des agents chélateurs spécifiques comme l'EDTA. Le pH des solutions extractantes étant ajusté à celui du sédiment.

Les sédiments de la retenue de barrage Sidi Chahed est de type calcaire il est indispensable d'utiliser une faible masse de sédiment (0,5g) pour minimiser le temps d'extraction, le nombre d'extractions et le volume d'extractant et surtout dans la deuxième étape concernant le phosphore lié au calcium.

Ainsi, nous avons identifiées par des extractions séquentielles différentes fractions du phosphore des sédiments de la retenue de barrage Sidi Chahed. Les résultats de ces extractions ont montré que le phosphore sédimentaire est essentiellement sous formes inorganiques [$Fe(OOH)-P + CaCO_3-P$]. Ces formes minérales représentent près de 88 % en moyenne du phosphore total, avec la prédominance de la fraction $CaCO_3-P$ qui représente près de 76%. Cependant, les formes organiques [POSA + POR] représentent seulement 12% du phosphore total.

Mots clés— Sédiment, extractions séquentielles, retenue du barrage, formes de phosphore.

Abstract— The determination of the levels of different forms of phosphorus in sediments of dam retentions is of great importance in the study of phenomenon of eutrophication of these bodies of water, And constitute more generally a contribution, advantageous of the functioning of these middles.

This work has for objective the determination of the different forms of phosphorus in sediments of the dam retention Sidi Chahed (Morocco). The total phosphorus was determined after mineralization of sediment ($H_2SO_4/K_2S_2O_8$), depending on the method of ammonium molybdate and Ascorbic acid as base reagent. The fractionation of phosphorus in the sediment is carried out on the fraction less than 200 μm according to the method that uses specific chelators such as EDTA. The pH of the extracting solutions being adjusted to that of the sediment.

The sediments of the withholding the dam Sidi Chahed is of limestone type, it is essential to use a small mass of sediment (0, 5g) to minimize the extraction time, the number of extractions and the volume of extracting and especially in the second stage concerning the phosphorous bound to calcium.

Thus, we have identified by sequential extractions, different fractions of phosphorus in sediments of the dam retention Sidi Chahed. The results of these extractions have shown that the sedimentary phosphorus is mainly in the inorganic forms [$Fe(OOH) p + CaCO_3-P$]. These mineral forms represent nearly 88% on average of total phosphorus, with the predominance of the $CaCO_3-P$ fraction that represents almost 76%. However, organic forms [POSA + POR] represent only 12% of the total phosphorus.

Key words - Sediment, sequential extractions, retained of the dam, forms of phosphorus.

I. INTRODUCTION

L'eutrophisation des retenues de barrages est l'un des problèmes les plus importants affectant la qualité des eaux. Ce phénomène est généralement défini comme l'enrichissement des eaux en nutriments, en particulier le phosphore, par rapport aux concentrations naturelles. En effet, le phosphore est considéré dans la plupart des écosystèmes comme élément limitant du développement végétal [1]. Le phosphore apporté aux milieux aquatiques selon, sa concentration et les caractéristiques du milieu peut s'accumuler en quantité élevée dans les sédiments. Son intégration se manifeste de façon dynamique au niveau de la sédimentation.

Le fait de savoir sous quelles formes se trouve le phosphore dans les sédiments est capital pour pouvoir évaluer la fraction du phosphore biodisponible qui représente la partie de phosphore susceptible d'être remise en solution et pouvant être assimilée par la végétation aquatique. Ainsi, nous avons jugé utile d'évaluer les formes du phosphore des sédiments de la retenue de barrage Sidi Chahed et leur variation spatio-temporelle, par l'application d'une série des extractions séquentielles que nous avons améliorées et adaptées spécifiquement pour les sédiments de notre retenue de barrage.

II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Retenue de barrage Sidi Chahed

La retenue de barrage Sidi Chahed est située sur l'Oued Mikkès (figure 1). Ce cours d'eau traverse trois ensembles structuraux différents [2]:

- le causse d'El Hajeb – Ifrane au sud où prédominent les formations carbonatées (les calcaires et les dolomies du Lias) et dont la fracturation est forte,
- le bassin du Sais au centre, constitué par des calcaires lacustres et les sables fauves du Pliocène ainsi que les marnes du Miocène,
- le pré-Rif au nord, formé essentiellement par les marnes du Miocène et les argiles du Trias.

La construction de ce barrage a été destinée essentiellement à l'alimentation de la ville de Meknès en eau potable. Cependant, depuis sa mise en service en février 1997, la qualité des eaux de la retenue s'est avérée impropre à la consommation à cause de sa salinité élevée.

En effet, le drainage des terrains triasiques très riches en sel gemme et en gypse par l'Oued Mellah (cours d'eau salé), principal affluent de l'Oued Mikkès, et dont les eaux se déversent directement dans la retenue, constitue l'origine principale de la salinité des eaux retenues par le barrage Sidi Chahed.

II.2. Stations étudiées

Quatorze stations de prélèvement ont été retenues dans le cadre de cette étude, dont onze (S4 à S14) ont été choisies réparties d'amont en aval afin de mieux couvrir toute la zone de la retenue de barrage, et sont situées dans l'axe principal du celui-ci. Les trois autres ont été choisies près de l'Oued Malleh, l'Oued Mikkès et leur intersection, notées respectivement S_{Ma} , S_{Mi} et S_{int} .

Le prélèvement des échantillons de sédiment a été effectué à l'aide d'une benne de type Ekman qui a permis de prélever les cinq premiers centimètres du sédiment. Chaque échantillon représentatif d'une station est le mélange d'au moins de trois échantillons prélevés dans des points espacés de quelques mètres. Les échantillons sont conservés dans des sacs en plastique dans une glacière portable à 4 °C lors de leur transport au laboratoire où ils sont traités dans les 24 heures. Les prélèvements de sédiments superficiels ont été effectués au cours de quatre-saisons en printemps, été, automne 2013 et, hiver 2014.

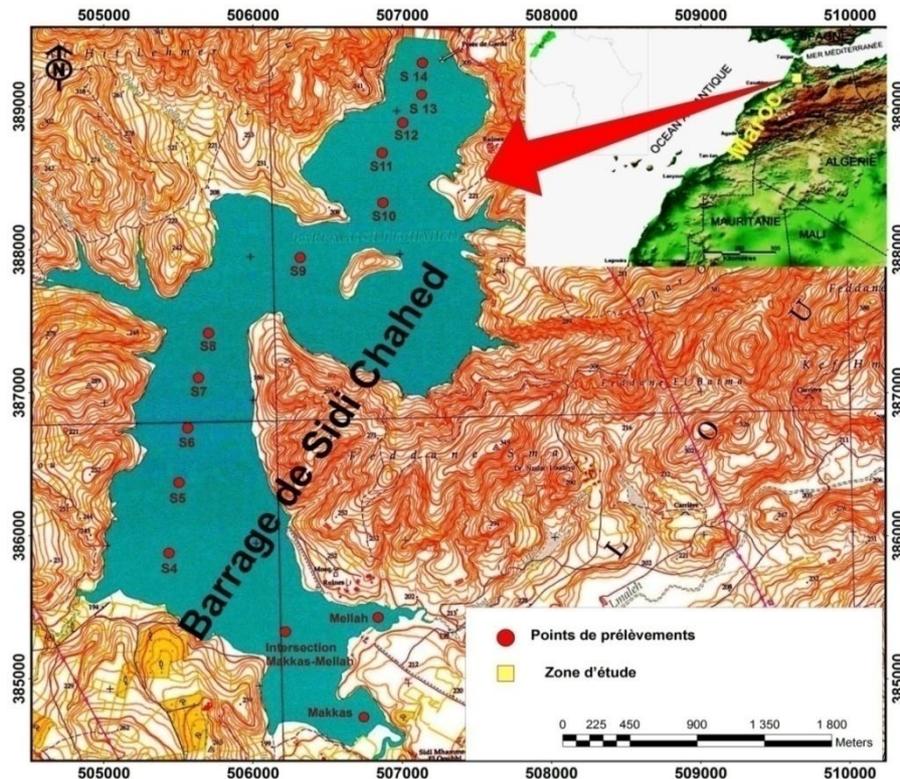


Figure 1: Situation géographique de la retenue de barrage Sidi Chahed et localisation des stations de prélèvement.

II.3. Extractions séquentielles des formes du phosphore

Il existe dans la littérature diverses méthodes de spéciation des différentes formes de phosphore des sédiments [3]-[6]. La plus part de ces techniques ont comme point commun le fait qu'elles distinguent principalement les formes organiques des formes minérales, et à l'intérieur de cette forme inorganique elles distinguent les formes liées au fer de celles liées au calcium.

Ces méthodes qui sont basées sur des extractions séquentielles des formes du phosphore, par des extractants classiques [3]-[6], sont en général critiquées. En effet, elles emploient des extractants trop agressifs et insuffisamment spécifiques [7]. Ces extractants conduisent parfois à de mauvaises interprétations des phénomènes liés aux échanges à l'interface eau-sédiment [3], car ils supposent que ces compartiments chimiques ont des disponibilités biologiques déterminées. Par ailleurs, l'utilisation des méthodes classiques basées sur les extractants acido-basiques ont deux inconvénients :

- Le premier consiste en une partie de phosphates liés au fer extraits avec NaOH sont réadsorbés sur le calcium et seront donc extraits avec HCl [8].
- Le second consiste en une partie de la fraction organique susceptible d'être solubilisée par l'extraction acide (HCl) viendrait aussi surestimer la somme des phosphates extraits lors de cette étape.

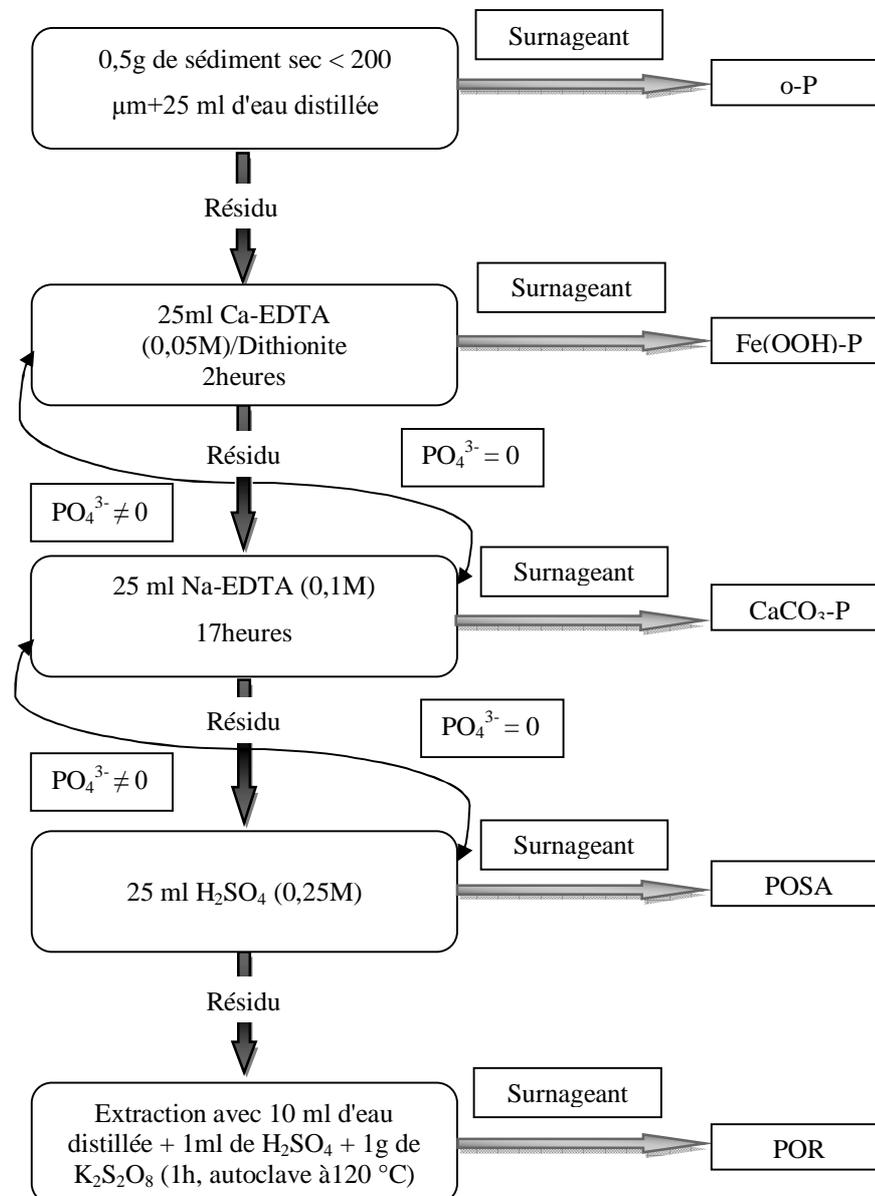


Figure 2 : Schéma d'extractions, amélioré et adapté pour les extractions sélectives des formes de phosphore des sédiments de la retenue de barrage Sidi Chahed.

Nous désignerons par :

- o-P** : phosphore soluble dans l'eau,
- Fe(OOH)-P** : phosphore lié au fer,
- CaCO₃-P** : phosphore lié au calcium,
- POSA** : phosphore organique soluble dans l'acide,
- POR** : phosphore organique résiduel,
- P-tot** : phosphore total,
- Pinorg** : phosphore inorganique, déterminé par addition de Fe(OOH)-P et CaCO₃-P,
- Porg** : phosphore organique, déterminé par addition de POSA et POR,
- ΣPi** : somme des fractions déterminées {o-P + Fe(OOH)-P + CaCO₃-P + POSA + POR}.

Après avoir effectué une étude bibliographique comparative des différentes méthodes citées dans la littérature, et pour les raisons citées en haut, la spéciation du phosphore dans les sédiments étudiés est réalisée sur la fraction inférieure à 200 μm selon la méthode EDTA de Golterman [9] modifiée et améliorée pour qu'elle soit adaptée aux sédiments de la retenue de barrage Sidi Chahed. Le phosphore soluble (o-P) est extrait en centrifugeant une suspension de 0,5 g de sédiment sec dans 25 ml d'eau distillée restée en contact et en agitation magnétique pendant 30 minutes. Sur le résidu sont ajoutés 25 ml d'une solution de Ca-EDTA (0,05M + 1% de dithionite de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$: 1 gramme de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ dans 100 ml de la solution Ca-EDTA) tamponnée à pH 8 avec du TRIS (hydroxyméthylaminométhane) pendant 1 heure, ce qui permet d'extraire le phosphate lié au fer [Fe(OOH)-P]. Sur le résidu résultant sont ajoutés 25ml d'une solution Na- EDTA (0,1M pH 4,5) pendant 17 heures. Cette opération ce fait autant de fois que l'extraction totale du phosphore l'exige, ce qui permet d'extraire la totalité de phosphore lié au calcium (CaCO_3 -P). Ensuite, une seule extraction de 30 min, effectuée avec H_2SO_4 (0,25 M), permet d'extraire le phosphore soluble à l'acide (POSA) [10]. La minéralisation en présence de persulfate de potassium, du résidu ainsi obtenu, permet d'extraire le phosphate organique résiduel (POR).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Le protocole de fractionnement que nous avons utilisé dans cette étude, qui est légèrement modifié par rapport à celui proposé par Golterman [9], est présenté dans la figure 2. La masse des sédiments utilisée est un paramètre principal de ces modifications que nous avons retenues du fait que ce paramètre dépend de la nature physico-chimique des sédiments étudiés. La modification de la masse des échantillons impose la modification du nombre d'extractions, le temps de contact, le volume d'extractant. Il est préférable que nous utilisions une faible masse pour minimiser le temps d'extraction, le nombre d'extractions et le volume d'extractant. De ce fait, pour nous assurer de la validité du protocole expérimental adopté après modification et de la bonne reproductibilité de la méthode à suivre, nous avons réalisé trois répétitions indépendantes menées en même temps dans les mêmes conditions. Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau 1.

Après extraction, centrifugation et filtration des surnageants sur une membrane de 0,45 μm , 2 ml d'extractant ajusté à 20 ml avec l'eau distillée a été utilisé pour la détermination des fractions Fe(OOH)-P et CaCO_3 -P. Le choix de ce volume n'est pas au hasard mais dont le but d'éliminer les interférences qui se produisent entre l'EDTA et la détermination des ions orthophosphates.

Tableau 1 : Résultats en ($\mu\text{g/g.séd.}$) de la reproductibilité de fractionnement séquentielle du phosphore sur trois sédiments différents.

		o-P	Fe(OOH)-P	CaCO_3 -P	POSA	POR	ΣPi	P-tot	R (%)
Echantillon (l)	Essai 1	< L.D	69,44	460,32	57,54	29,76	617,06	640,13	96,40
	Essai 2	< L.D	71,43	466,27	54,44	27,57	619,71	663,41	93,41
	Essai 3	< L.D	73,41	470,24	53,57	33,73	630,95	676,63	93,25
	σ		1,98	4,99	2,09	3,12	7,37	18,48	1,77
	\bar{X}		71,43	465,61	55,19	30,35	622,58	660,06	94,35
	%C.V		2,78	1,07	3,78	10,28	1,18	2,80	1,88
Echantillon (Mf)	Essai 1	< L.D	43,65	450,40	39,68	29,76	563,49	590,59	95,41
	Essai 2	< L.D	45,63	456,83	36,43	24,35	563,24	610,12	92,32
	Essai 3	< L.D	41,67	442,46	37,70	25,79	547,62	579,54	94,49
	σ		1,98	7,20	1,64	2,80	9,09	15,48	1,59
	\bar{X}		43,65	449,89	37,94	26,63	558,12	593,42	94,07
	%C.V		4,55	1,60	4,32	10,52	1,63	2,61	1,69
Echantillon (6)	Essai 1	< L.D	69,44	390,87	67,46	27,78	555,56	593,81	93,56
	Essai 2	< L.D	73,38	398,49	60,63	22,52	555,03	569,45	97,47
	Essai 3	< L.D	75,40	396,83	69,44	23,81	565,48	580,19	97,46
	σ		3,03	4,01	4,62	2,74	5,88	12,21	2,26
	\bar{X}		72,74	395,40	65,85	24,70	558,69	581,15	96,16
	%C.V		4,16	1,01	7,02	11,09	1,05	2,10	2,35

C.V : Coefficient de variation ; σ : Ecart-type ; \bar{X} : Moyenne ; L.D : Limite de détection ; i : Fraction de phosphore.

L'importance d'évaluer le coefficient de variance (C.V), et le rapport (R) entre la somme des fractions déterminées par les attaques séquentielles (ΣPi) et le phosphore total (P-tot) obtenue par minéralisation totale est de vérifier que nos extractions séquentielles de phosphore ont été menées de façon correcte ou non.

$$\% C.V = \frac{\sigma}{X} \times 100$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^5 P_i}{P_{tot}}$$

Les coefficients de variation indiqués sur le tableau ci-dessus sont très faibles, c'est-à-dire que les valeurs de chaque assai sont dispersées d'une manière plus proche de la moyenne, ce qui montre la bonne reproductibilité de la méthode utilisée.

De même, le rapport (R) est plus proche de 100% c'est-à-dire que la somme des fractions déterminées par les attaques séquentielles ($\sum P_i$) est presque égale la valeur de phosphore total (P-tot) obtenue par minéralisation totale, avec une différence de 5% en moyenne, ce qui montre la validité de la méthode utilisée.

Même si les trois premières extractions sont incomplètes, la somme des extractions sera la même, et par la suite le rapport R sera le même. Donc la précaution est nécessaire lors des trois premières étapes est surtout lors des deux premières. En d'autre terme toute la quantité de Fe^{3+} est réduite en Fe^{2+} et donc complexée par l'extractant Ca-EDTA lors de la première étape, et toute la quantité de Ca^{2+} est complexée par l'extractant Na_2 - EDTA lors de la deuxième étape. Ceci est dû à la dernière étape qui traduit une extraction totale du phosphore résiduel.

Les résultats des extractions séquentielles de phosphore des sédiments du barrage Sidi Chahed sont reportés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Minimum, moyenne, maximum et écart type des différentes fractions de P des sédiments de la retenue barrage Sidi Chahed.

Saisons	Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Printemps	Fe(OOH)-P	47,62	77,38	60,80	9,10
	CaCO ₃ -P	357,14	466,27	398,95	27,95
	POSA	37,70	69,44	51,45	8,29
	POR	21,83	33,73	25,79	3,11
	P-tot	486,11	638,89	571,85	36,07
Eté	Fe(OOH)-P	39,68	71,43	53,15	9,57
	CaCO ₃ -P	386,90	474,21	417,66	24,77
	POSA	33,73	59,52	41,52	6,39
	POR	19,84	33,73	23,67	4,08
	P-tot	494,05	672,62	596,94	45,54
Automne	Fe(OOH)-P	51,59	65,48	58,39	4,59
	CaCO ₃ -P	416,67	541,67	489,37	44,58
	POSA	21,83	37,70	28,49	4,38
	POR	19,84	37,70	28,49	5,43
	P-tot	527,78	688,49	607,57	50,93
Hiver	Fe(OOH)-P	67,46	115,08	94,39	12,47
	CaCO ₃ -P	319,44	394,84	353,88	24,41
	POSA	3,97	17,86	9,35	4,00
	POR	43,65	63,49	51,16	6,23
	P-tot	462,30	609,13	547,76	47,23

Les résultats de la spéciation du phosphore (Tableau 2) montrent que le phosphore se trouve majoritairement sous forme inorganique (en moyenne 88 %). La fraction organique est faiblement représentée (12 %). Ces résultats montrent aussi que le phosphore inorganique est représenté en majeure partie par la fraction calcique CaCO₃-P (76 %). Ceci est en accord avec les caractéristiques géologiques du bassin de Sais où les formations carbonatées sont plus importantes.

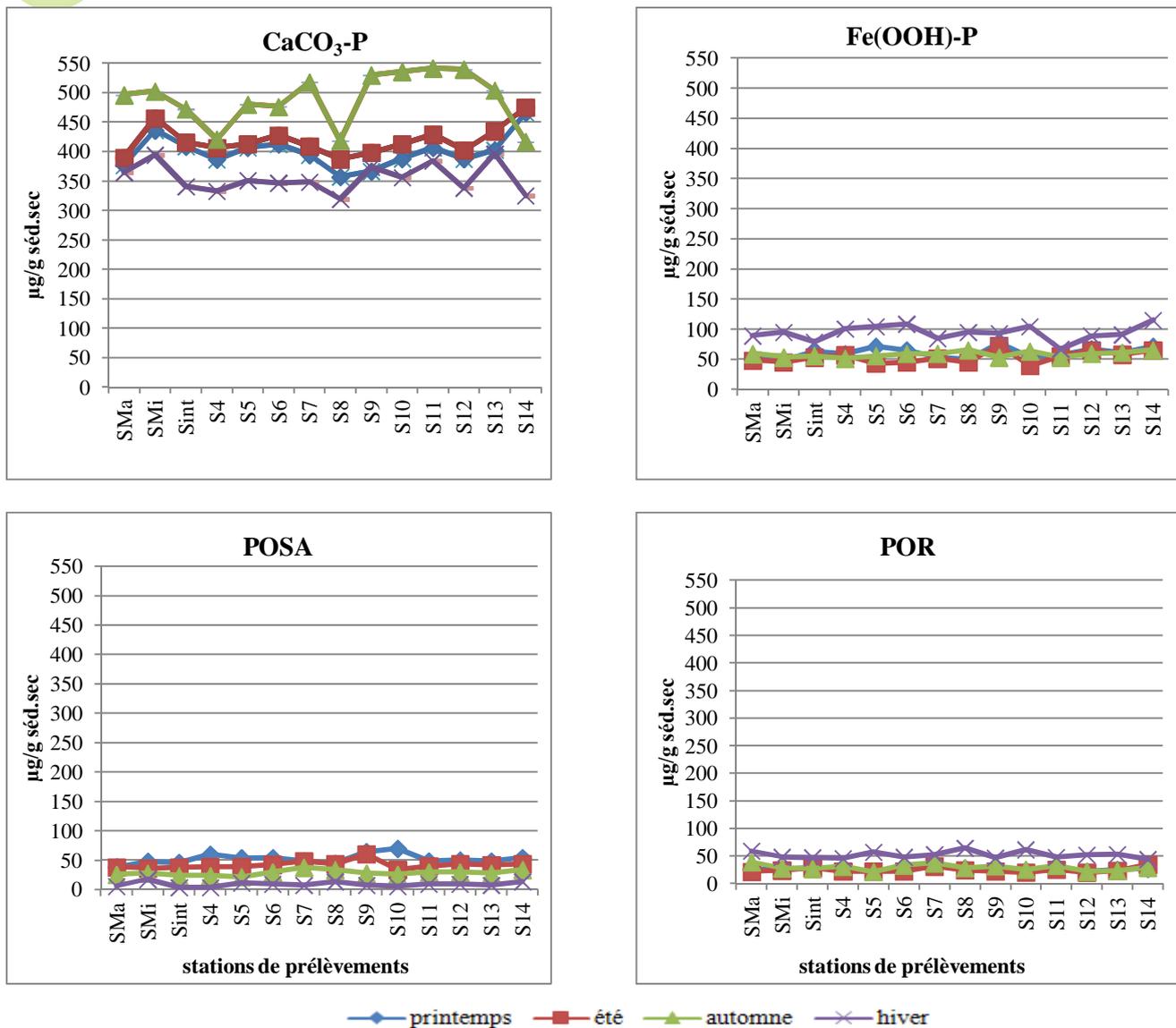


Figure 3 : Variation spatio-temporelle des différentes formes de phosphore des sédiments superficiels de la retenue de barrage Sidi chahed.

La fraction $\text{CaCO}_3\text{-P}$ représente la fraction la plus importante du phosphore total des sédiments. Cette fraction a été considérée comme peu mobilisable, mais elle peut entraîner une libération du phosphore suite à une baisse du pH [11],[12]. Les variations saisonnières importantes des concentrations (figure 3) de la forme $\text{CaCO}_3\text{-P}$ peuvent être en effet, expliquées par les variations du pH. En printemps et en été, l'augmentation de l'activité photosynthétique augmente les valeurs du pH dans la colonne d'eau [13], ce qui favorise la précipitation de la calcite et la coprécipitation du phosphore [14]-[16], d'où l'augmentation des teneurs en $\text{CaCO}_3\text{-P}$ à la surface des sédiments.

Par ailleurs, la fraction liée au fer (Fe(OOH)) joue un rôle important dans les échanges du phosphore à l'interface eau-sédiment. Les phosphates peuvent former des complexes avec la matière organique, puis se complexer avec le fer. Cette complexation a déjà été mise en évidence sur des sédiments de rivières [17]. En période estivale, l'augmentation de la température active la dégradation bactérienne de la matière organique [18],[19], ce qui entraîne une baisse du potentiel redox du sédiment et provoquerait un relargage du phosphore et du fer qui est utilisé comme accepteur d'électrons dans le processus de minéralisation à partir de la fraction Fe(OOH)-P [20].

La fraction POSA est sensible à la variation du pH de la colonne d'eau. La nature exacte de cette fraction n'est pas encore bien expliquée [21],[22]. Elle est considérée comme une fraction disponible qui peut être mobilisée [23].

Comme elle est mentionnée par plusieurs auteurs [24],[25], la fraction POR est formée par le phosphore associé à des substances humiques, telles que les phytates et les phosphanates. Golterman *et al* [23] ont montré que les phytates peuvent disparaître des sédiments en milieu anoxique et que leur minéralisation peut être un mécanisme important dans le relargage du phosphore en anoxie.

IV. CONCLUSION

Au cours de cette étude, nous avons testé, pour les sédiments de la retenue de barrage Sidi Chahed, la reproductibilité et la validité de la méthode de spéciation des chélateurs EDTA, nous avons trouvé que les extractions séquentielles du phosphore ont été menées d'une façon correcte ce qui veut dire que cette méthode modifiée et adoptée à partir de celle de Golterman [9] est applicable sur nos sédiments. La quantité des sédiments utilisée est un paramètre essentiel lié à la fiabilité et la reproductibilité de protocole de fractionnement.

L'étude des formes du phosphore sédimentaire dans la retenue de barrage Sidi Chahed révèle la dominance des formes inorganiques; la fraction $\text{CaCO}_3\text{-P}$ étant majoritaire par rapport à la fraction $\text{Fe}(\text{OOH})\text{-P}$. Le phosphore mobilisé par l'une de ces fractions sera en partie relargué dans l'eau interstitielle et en partie adsorbé par l'autre fraction en fonction des conditions environnementales de chaque saison, en particulier la température, le pH, le volume et le débit d'eau. Il apparaît qu'il existe un équilibre entre l'échange de la fraction $\text{Fe}(\text{OOH})\text{-P}$ et la fraction $\text{CaCO}_3\text{-P}$ puisque les augmentations de la température et du pH de la colonne d'eau entraînent, la libération du phosphore piégé dans la fraction liée au fer d'une part, et l'augmentation de la fraction liée au calcium d'autre part.

REFERENCES

- [1] Vollenweider R., Kerekes J., *Eutrophication of waters, monitoring, assessment and control*. OCDE, Paris, 1982.
- [2] Belhassan K., Hessane M.A., Essahlaoui A., *Interactions eaux de surface-eaux souterraines: bassin versant de l'Oued Mikkes (Maroc)*, Hydrological Sciences Journal, 55:8, 1371-1384, 2010.
- [3] Bonzongo J.C., Bertru G., Martin G., *Les méthodes de spéciation du phosphore dans les sédiments : critiques et propositions pour l'évaluation des fractions minérales et organiques*. Arch. Hydrobiol., 116, 61–69, 1989.
- [4] Hieltjes A.H.M., Lijklema L., *Fractionation of inorganic phosphate in calcareous sediments*. J. Environ. Qual., 9, 405–407, 1980.
- [5] Psenner R., Pucsko R., *Phosphorus fractionation: advantages and limits of the method for the study of sediment P origins and interactions*. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergben, 30, 43–59, 1988.
- [6] Williams J., Jaquet J., Thomas R., *Forms of phosphorus in the surficial sediments of lake Erie*. J. Fish. Res. Board. Canada, 33, 413–429, 1976.
- [7] DE Groot C. J., *Flux et transformations du phosphate et de l'azote dans les zones humides: la Camargue (Delta du Rhône)*. Thèse d'Université, Université Claude Bernard, Lyon I, 1992.
- [8] De Groot C.J., *Some remarks on the presence of organic phosphates in sediments*. Hydrobiologia, 207, 303–309, 1990.
- [9] Golterman H.L., *Fractionation of sediment phosphate with chelating compounds: a simplification, and comparison with other methods*. Hydrobiologia, 335, 87–95, 1996.
- [10] De Groot C.J., Golterman H.L., *Sequential fractionation of sediment*. Hydrobiologia, 192, 143–148, 1990.
- [11] Ishikawa M., Ishikuni M., *Coprecipitation of calcite with calcite*. Geoch. J, 28, 283–288, 1981.
- [12] Böstrom B., Andersen J.M., Fleischer S., Jansson M., *Exchange of phosphorus across the sediment–water interface*. Hydrobiologia, 170, 229–244, 1988.
- [13] Kemmou S., Dafir J.E., Taoufik M., Loukili L., El Wartiti M., Kacimi I., *Évolution temporelle des éléments nutritifs dans la masse d'eau de la retenue Al Massira (Oum Rabiaa – Maroc)*. J. Rech. Océanog, 28, 170–176, 2003.
- [14] House W.A., Denison H.F., *Nutrient dynamics in a lowland stream impacted by sewage effluent: Great Ouse, England*. Sci. Tot. Environ, 205, 25–49, 1997.
- [15] Groleau A., Vinçon-Leite B., Tassin B., Sarazin G., Quiblier- Llobéras C. *Calcite precipitation and interaction with phosphorus cycle in lake Bourget (France)*. In Armannson H (ed.), *Geochemistry of earth surface*, 565–568, 1999.
- [16] Neal C., *The potential for phosphorus pollution remediation by calcite precipitation in UK freshwaters*. Hydrology and Earth System Sciences, 5, 119–131, 2001.
- [17] Suzuki Y., Kuma K., Kudo L., Hasebe K., Matsunaga K., *Existence of stable Fe (II) complex in oxic river water and its determination*. Water Res, 26, 1421–1424, 1992.
- [18] Boers P., Van Hese O., *Phosphorus release from the peaty sediments of the Loosdrecht lakes (The Netherlands)*. Water Res, 22, 355–363, 1988.
- [19] Asuming-Brempong S., Aferi N.K., *Isolation of phosphate solubilizing bacteria from tropical soil*. Global Advanced Research Journal of Agricultural Science, 3(1), 008-015, 2014.
- [20] Sandbye B., Gobeil C., Silverberg N., Mucci A., *The phosphorus cycle in coastal marine sediments*. Limnol. Oceanogr, 37, 1129–1145, 1992.
- [21] Gomez E., Durillon C., Rofes G., Picot B., *Phosphate adsorption and release from sediments of brackish lagoons: pH, O₂ and loading influence*. Water Res, 33(10), 2437–2447, 1999.
- [22] De Vincete L., Serrano L., Amores V., Clavero V., Cruz- Pizarro L., *Sediment phosphate fractionation and interstitial water phosphate concentration in two coastal lagoons (Albuferas de Adra, SE Spain)*. Hydrobiologia, 492, 95–105, 2003.
- [23] Golterman H.L., Paing J., Serrano L., Gomez E., *Presence of and phosphate release from polyphosphates or phytate phosphate in lake sediments*. Hydrobiologia, 364, 99–104, 1998.
- [24] Turner B.L., Mahieu N., Condron L.M., *Quantification of myo-inositol hexakisphosphate in alkaline soil extracts by solution P-31 NMR spectroscopy and spectral deconvolution*. Soil Sci, 168, 469–478, 2003.
- [25] Gilben R., Gomez E., Picot B., *Phosphorus and organic matter in wetland sediments: analysis through gel permeation chromatography*. Agronomie, 20, 567–576, 2000.