Distribution du silicium dans les eaux de pluie et les eaux souterraines

Généralement les concentrations des ions $Si(OH)_4$ dans les eaux des pluies sont faibles, fluctuant entre 1,3 et 5,4 µM avec une moyenne de 3,5 µM. Les valeurs moyennes de sont de l'ordre de 3,7 µM dans la région d'Annaba, 2 µM dans la région de Guelma et 3 µM à El-Kala comme on le constate sur le tableau 9.

Par contre les eaux souterraines sont très riches en $Si(OH)_4$. En effet les eaux de puits de la région de la Mafrag en 2007 ont une moyenne de 165 µM avec un maximum de 248 µM et un minimum de 70 µM (Tableau 9).

Tableau 9 : *Valeurs moyennes, minimales et maximales des ions $Si(OH)_4$ dans les eaux de puits de la région du Mafrag en 2007.*

	Maximum	Minimum	Moyenne
Puits 01	206	136	171
Puits 02	144	70	107
Puits 03	248	182	215

Importance et ordre des valeurs du silicium

Le silicium est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre après l'oxygène, il se trouve essentiellement sous forme minérale, en particulier sous forme de silicates. Environ 40% des minéraux courants contiennent du silicium : roches sédimentaires détritiques, sables, grès, argiles, roches cristallisées comme le quartz et les roches volcaniques.

Dans les milieux aquatiques, le silicium se trouve sous forme d'acide orthosilicique $Si(OH_4)$ dont l'abondance contrôle le développement du phytoplancton (les diatomées), organismes les plus abondants sur la planète. Les diatomées incorporent le silicium dans leurs valves ou enveloppes où il y constitue souvent plus de 40% de la fraction minérale (Bougis, 1974).

L'objectif de cette étude est d'évaluer les niveaux de concentrations du silicium dans les eaux naturelles : eau de surface (oued Seybouse, estuaire du Mafrag), les eaux marines (eaux côtières du golfe d'Annaba), les eaux souterraines (eaux de puits de la région du Mafrag) et les eaux de pluie de la région d'Annaba. Cette étude est la première à considérer le silicium dans son cycle global et dans l'optique des relations géochimiques atmosphère-continent-mer.

Les résultats montrent que les eaux souterraines sont très riches en $Si(OH)_4$, avec une moyenne de 165 µM à la différence des eaux de pluie, faiblement minéralisée. En fait, le cycle du silicium est fondamentalement sédimentaire puisqu'il n'a pas de forme gazeuse. La concentration moyenne des eaux de pluie en $Si(OH)_4$ atteignant des valeurs aussi faible que 3,5µM, proviendrait des particules atmosphériques entraînées par l'eau pluviale. La fraction atmosphérique constitue en effet 8% du silicium terrestre comme le rapportent Tréguer et al. (1995).

Dans les eaux de surface, les teneurs du $Si(OH)_4$ à Seybouse (57µM) et dans l'estuaire du Mafgrag (46µM) sont moyennement élevées. Dans les eaux littorales du golfe d'Annaba le silicium est très peu abondant avec une moyenne de 7 µM, représentant le double des eaux de pluie.

Conservativité et non conservativité du silicium

Très généralement, les concentrations en $Si(OH)_4$ varient avec le cycle hydrologique de l'estuaire et d'Oued Seybouse, on y constate de fortes valeurs

pendant la période humide (130µM à Mafrag et 93µM à Seybouse) et on assiste à une diminution générale des teneurs durant la période sèche (10 µM à Mafrag et 20 µM à Seybouse). Cette chute des valeurs traduit non seulement l'origine continentale du $Si(OH)_4$ mais aussi la consommation accrue par les diatomées. Les processus d'absorption paraissent donc plus rapides que la régénération interne ou l'apport de la nappe et des eaux de surface. Cette situation peut être en partie expliquée par les courbes de dilution consignées à la figure 15.

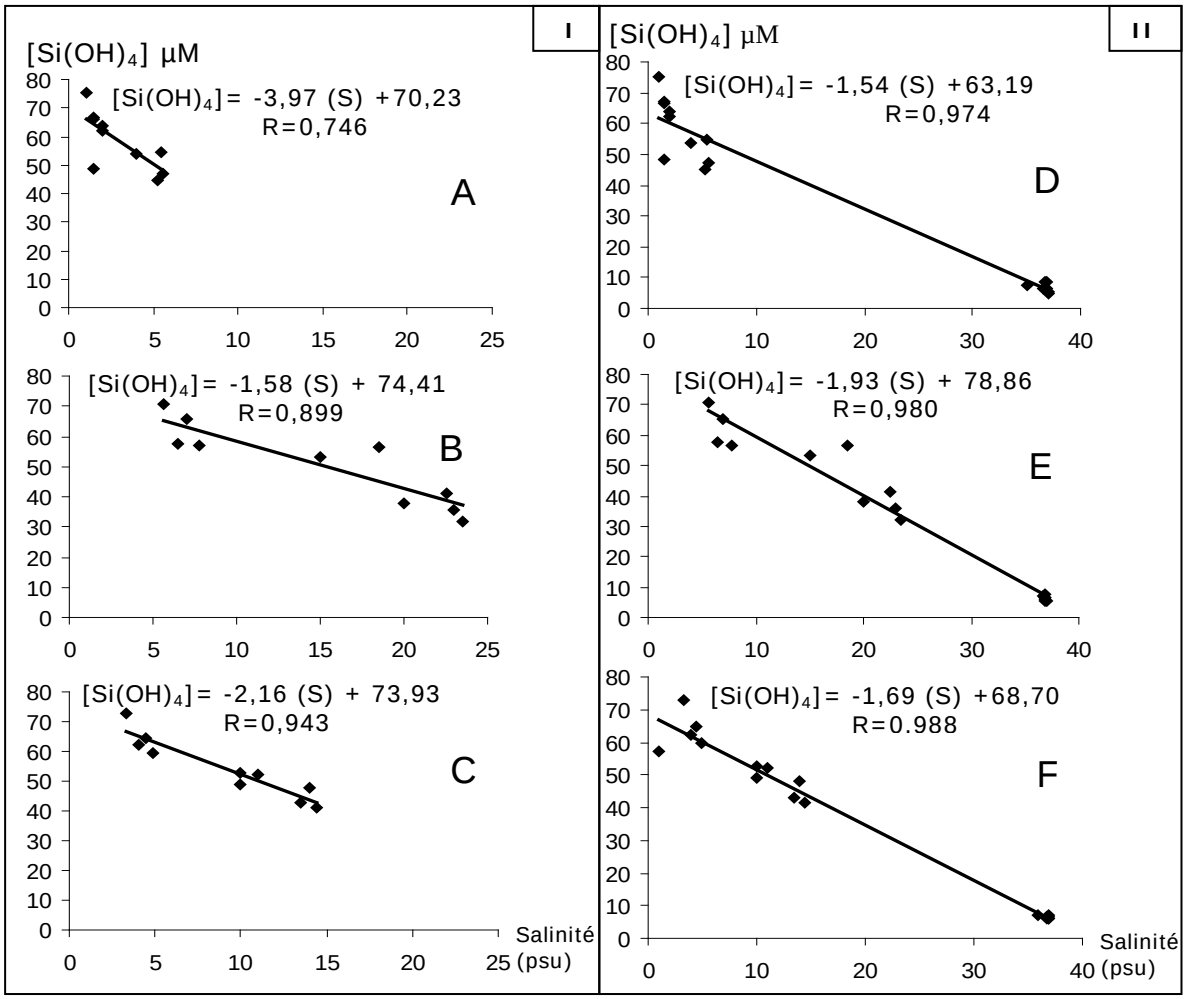

Figure 15 : *Diagramme $Si(OH)_4$ –salinité (ou courbes de dilution) pour les eaux étudiées. I : estuaire Mafrag (A: courbe de la moyenne annuelle des valeurs de surface, B: courbe de la moyenne annuelle des valeurs de fond, C: courbe de la moyenne annuelle de surface et de fond). II : toute valeur confondue de Seybouse, estuaire Mafrag et le littoral d'Annaba (D: courbe de la moyenne annuelle des valeurs de surface, E: courbe de la moyenne annuelle des valeurs de fond, F: courbe de la moyenne annuelle de surface et de fond), S : Salinité, en mars 2006-avril 2008.*

Les valeurs en dessous de la courbe traduisent le comportement non conservatif du silicium, autrement dit le contrôle biologique du silicium coïncidant souvent

avec les fortes salinités rencontrées en période sèche (Figure 15). Inversement, aux faibles salinités de la saison pluvieuse, se superposent les fortes teneurs en silicium expliquant un comportement conservatif dépendant plutôt du contrôle physique (apports souterrain, continental et atmosphérique).

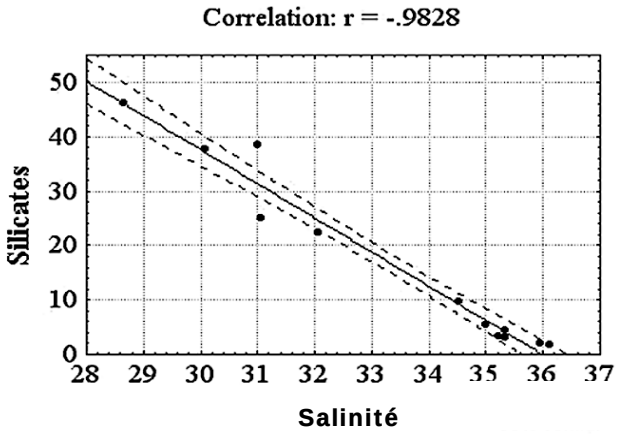

Figure 16 : *Diagramme Silicate-Salinité (ou courbes de dilution) pour les eaux de surface du golfe de Strymonikos (Grèce), en décembre 1997, d'après (Agios Kosmas, 1999).*

Des tendances comparables sont rapportées par Agios Kosmas (1999) pour les eaux côtières de surface du golfe de Stryminikos (Grèce). En plus de cet exemple très démonstratif des relations salinité-[$Si(OH)_4$] (Figure 16), les teneurs des silicates dans le golfe de Strymonikos sont remarquablement comparables aux valeurs du golfe d'Annaba, comme le montre par ailleurs le tableau 10.

Tableau 10: *Concentrations de surface des ions $Si(OH)_4$ aux stations 1-10 du golfe de Strymonikos (Grèce) Agios Kosmas (1999), et aux stations 1-7 du golfe d'Annaba pour la période mars 2007-avril 2008.*

	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	St 10
Golfe de Strymonikos 1997	3,12	5,61	2,00	4,39	1,67	5,25	9,82	4,08	6,17	8,69
Golfe de Strymonikos 1998	3,39	3,16	3,04	3,42	3,36	8,32	7,84	5,60	5,60	5,89
Golfe de Strymonikos 1999	0,86	1,09	1,24	1,01	0,53	7,01	8,27	6,60	19,9	4,65
Golfe d'Annaba 2007-2008	6,62	6	6,10	6,78	6,24	7,12	7,29			

Si on compare les résultats de cette étude avec d'autres recherches, dans les estuaires et les rivières, on s'apercevrait que les teneurs du $Si(OH)_4$ sont sensiblement comparables. D'après Masashi et Katsuhisa (1998), la moyenne des concentrations en $Si(OH)_4$ dans plusieurs rivières au Japon (Shinon, Tone, Ishikari, Yahagi) varie entre 58 et 140 µM (Tableau 11).

Paradoxalement et a l'opposé des eaux de surface, les teneurs du $Si(OH)_4$ dans le littoral d'Annaba s'accroissent en été (13 à 17,80 µM), soit deux fois plus élevées que la valeur moyenne. Il semble que cette dynamique singulière en milieu côtier soit en relation avec le relargage sédimentaire du silicium en provenance des boues à diatomées.

Dans le golfe d'Annaba, les diatomées dominent en effet presque toute l'année et développent de forts effectifs particulièrement au printemps (Ounissi et Fréhi, 1999). Cette production printanière devait constituer une source de boues à diatomées à partir desquelles se régénère un fort stock estival de silicium. Il est aussi intéressant de souligner que le maximum de production primaire en Méditerranée s'effectue plutôt en hiver à la différence de ce qu'on pense souvent à tord (Jacques et Tréguer, 1986). Ce qui explique peut être la chute générale des teneurs de silicium en hiver et de façon moins évidente au printemps.

Il n'est pas facile en outre de distinguer une différence significative entre les concentrations du $Si(OH)_4$ dans les eaux de la surface et celle du fond. On peut noter cependant que les eaux de la surface sont un peu plus riches que celles du fond.

Indications écologique et géochimique du rapport silicium / azote (Si / N)

Sur le plan biologique et écologique, les besoins en silicium pour les diatomées, comparées à celles de l'azote sont identiques (Jaques et Tréguer, 1986), soit une mole de silicate pour une mole d'azote (1/1). Ces besoins sont largement satisfaits dans l'estuaire du Mafrag (Si/N = 3, tableau 12 et figure 18) et dans les eaux de Seybouse (Si/N = 1,6/1, tableau 12 et figure 17) pour la période d'étude. Le niveau d'anthropisation peut être estimé à partir du rapport Si/N comme le montre les données de Vörösmarty et al. (1998) consignées dans le tableau 10 où ils distinguent les rivières propres des rivières anthropisés (par l'industrialisation et l'urbanisation). En fait, on considère que l'azote est essentiellement d'origine anthropique à la différence du silicium d'origine strictement naturelle. Dans le tableau 11, ce n'est pas la concentration du silicium qui est importante puisque indépendamment de la rivière, les teneurs sont du même ordre, mais plutôt le rapport Si/N qui est à considérer dans la classification des rivières. Selon Vörösmarty et al. (1998), les rivières propres ont un rapport Si/N >12 alors que les rivières polluées ont rapport Si/N<2. Il en ressort que la Seybouse se range plutôt parmi les rivières hautement anthropisés

à la différence du système estuarien du Mafrag où ce rapport s'élève à 4-5. Il faut aussi remarquer que les rivières considérées comme propres présentent des teneurs très faibles en azote, comprises entre 3 et 35µM. A l'opposé, les rivières fortement polluées sont très chargées en azote ayant des teneurs variables selon le site entre 64 et 372 µM.

Tableau 11: *valeurs moyenne de silicium, de l'azote et de rapport Si/N dans plusieurs rivières propre et Anthropisé aux défiantes périodes (Vörösmarty et al., 1998). * : cette étude.*

	Rivière	période	Si	N	Si/N
Propre	Amazon	1972	187	3,2	58,4
		Mai-Juin 1976	121	11	12,9
	Mackenzie	1978-1983	143	14	20
	Yokon	1978-1985	275	35	32,9
	Zaire	Novembre 1976	161	7,3	22,1
		Mai 1978	171	5,9	29
Anthropisé	Mississippi	1981-1987	108	114	1
	Po	1981-1984	120	147	0,7
	Rhine	1976-1978	130	310	0,4
	Seine	1976-1982	120	372	0,3
	Yangtze Changjiang)	Juin 1980	100	67	1,6
	Yellow (Hwanghe)	1986	128	64	2
	Seybouse *	**Février 2007-avril 2008**	**57**	**55**	**1,85**
	El-kébir *	**Mars 2006- avril 2008**	**47**	**31**	**4,28**
	Bounamoussa *	**Mars 2006- avril 2008**	**55**	**16**	**5,56**

Dans le golfe d'Annaba au contraire, le silicium peut être limitant du moment où le rapport n'est que de l'ordre de 1,2/1 (Tableau 12 et figure 19). Il semble que l'offre de l'azote est plus importante que celle du silicium et cela peut donc avantager le développement du phytoplancton non siliceux. Cette possible limitation s'opèrerait en hiver puisque en été le silicium étant très abondant.

Sur le plan géochimique, les eaux souterraines ont un fort rapport Si/N = 11/1 à l'inverse des eaux de pluie, reflétant le chimisme atmosphérique dont le rapport ne dépasse pas 0,20. Ces constatations sont reportées au tableau 12.

Dans les eaux de Seybouse, on ne constate pas une tendance claire du rapport Si/N, par contre dans l'estuaire de la Mafrag, Si/N varie avec le cycle hydrologique. En période de fermeture, Si/N s'accroît pour atteindre des valeurs fluctuant entre 6 et 43 cependant que la phase d'ouverture connaît une forte

dominance de l'azote ramenant le rapport à seulement 0,1-2 (Figure 18). L'altération du rapport (Si/N<1) apparaît en particulier dans les eaux du fond entre décembre et mars. La période d'ouverture s'accompagne d'un déséquilibre du rapport Si/N à l'avantage de l'azote qui est par ailleurs d'origine anthropique. On comprend que lorsque le système estuarien se ferme en été, les influences anthropiques s'atténuent et se traduisent par un rapport Si/N plus équilibré satisfaisant largement les besoins de diatomées.

Dans les eaux du golfe d'Annaba le déséquilibre du rapport Si/N est plus évident en hiver (comme pour la Mafrag) en particulier pour les aires plus directement soumises aux influences continentales (stations 7, 4 et 5) dont le rapport atteint la valeur critique (Si/N<1, Figure 19). On peut bien constater aussi l'altération du rapport surtout dans les eaux de fond comme pour l'estuaire du Mafrag.

Tableau 12 : *Valeurs moyennes du rapport Si/N calculées sur la base des données mensuelles des différents sites étudiés (2006-2007). Les données de l'azote ont été tirées de Ziouche (2006) et Kebabsa (2007) pour l'estuaire du Mafrag ; Fekrache (2007) pour la Seybouse ; Ledjdel (2007) pour le golfe d'Annaba.*

	Si/N en 2006	Si/N en 2007
Embouchure du Mafrag	3,12	3,37
El-kébir	3,24	5,25
Bounamoussa	4	5,90
Oued Seybouse	-	2,20
Golfe d'Annaba	-	1,90
Pluies de la région d'Annaba	-	0,19
Puits de la région du Mafrag	-	11,20

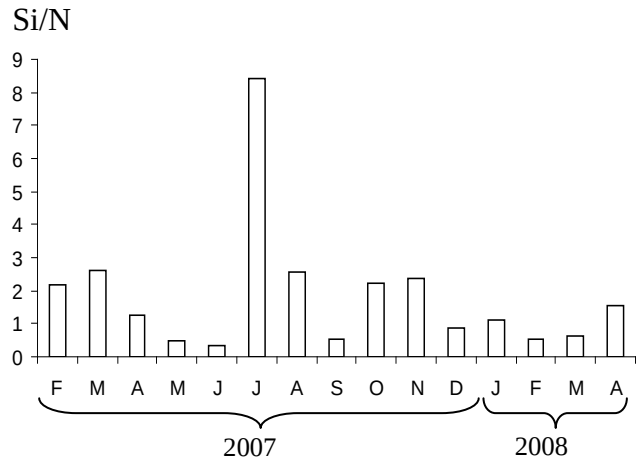

Figure 17 : *Evolution du rapport Si/N dans les eaux de la surface d'Oued Seybouse entre févier 2007- avril 2008.*

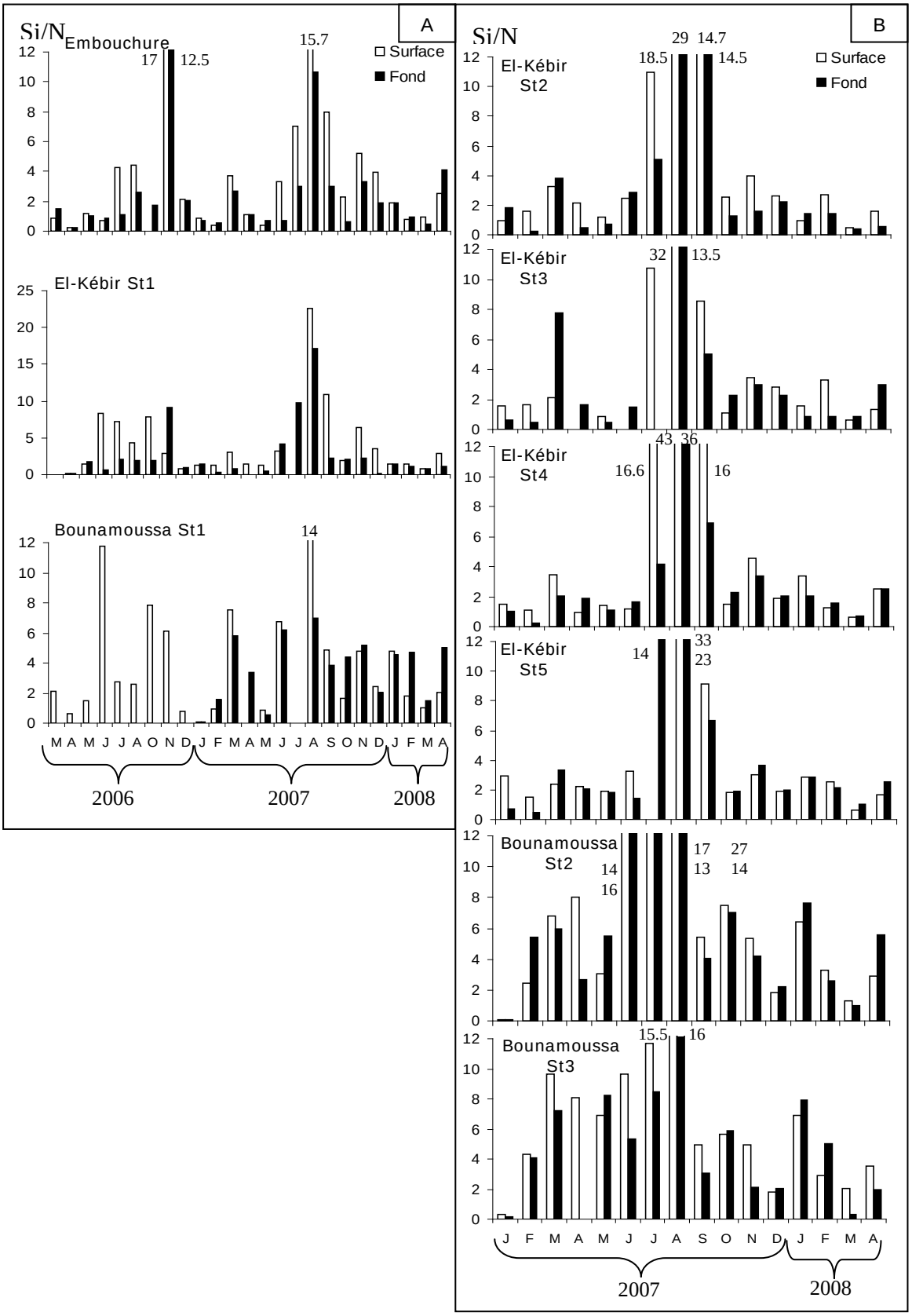

Figure 18 : *Evolution du rapport Si/N dans l'estuaire de la Mafrag (A : mars 2006-avril 2008 ; B : en 2007- avril 2008).*

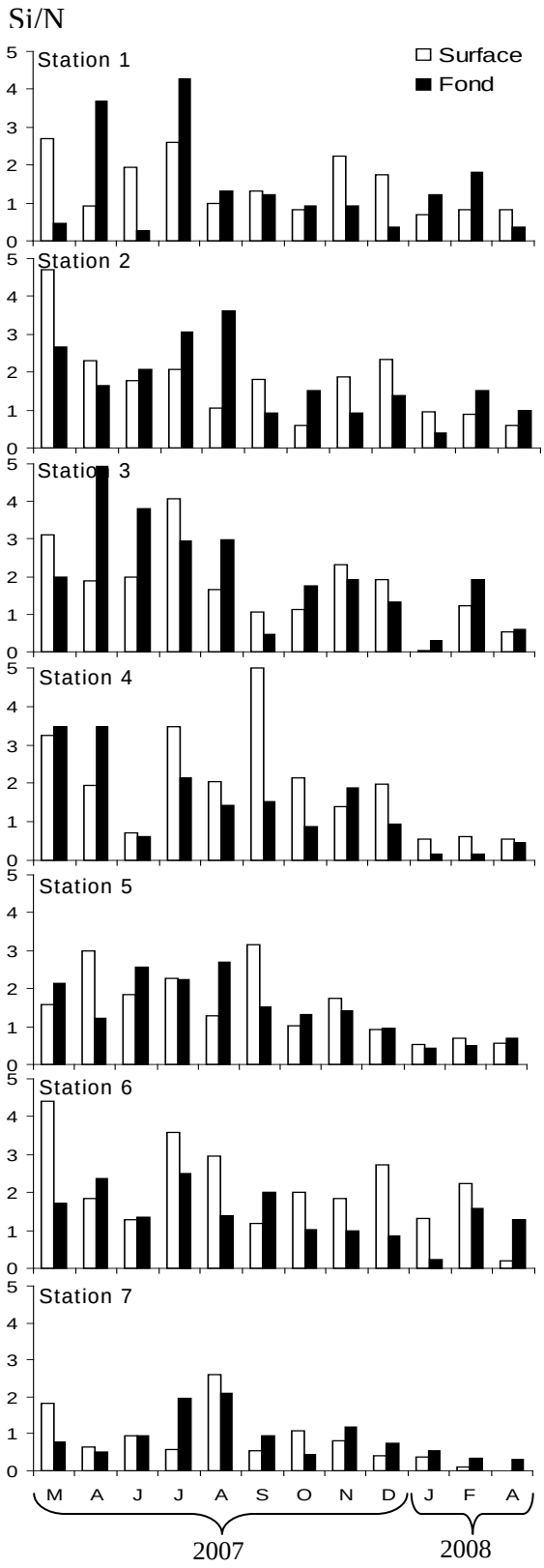

Figure 19 : *Evolution du rapport Si/N dans le golfe d'Annaba au cours de la période d'étude mars 2007- avril 2008.*

Approximation du flux et du bilan du silicium dans l'espace étudié

Le suivi des concentrations en $Si(OH)_4$ dans l'estuaire de Mafrag et Oued Seybouse durant la période mars 2006 jusqu'à avril 2008 a permis d'évaluer le flux de $Si\text{-}Si(OH)_4$ introduit à la côte. Considérant un débit annuel moyen de $10 m^3.s^{-1}$ pour l'estuaire du Mafrag (Ounissi, com. pers.) et $15 m^3.s^{-1}$ pour Seybouse (LCHF, 1976), on peut approximer le flux de silicium parvenant au littoral. On estime qu'en 2006, l'estuaire du Mafrag décharge dans le golfe d'Annaba environ 2 600 tonnes de $Si\text{-}Si(OH)_4$, contre seulement 1 370 tonnes de $Si\text{-}Si(OH)_4$ en 2007. Oued Seybouse introduit environ 1 150 tonnes de silicium en 2007. Au total le golfe d'Annaba recevrait plus de 2 500 tonnes en 2007.

Sur le plan saisonnier on constate une variabilité claire des flux en relation avec le débit (Tableau 13). En raison de la forte pluviométrie en hiver, le débit s'accroît ce qui hausse le flux au golfe d'Annaba à environ 6 120 tonnes de silicium via Mafrag et 2 522 tonnes de silicium via Seybouse (Tableau 13). Lorsque le débit s'abaisse au printemps, corrélativement le flux diminue à 1 835 tonnes/an à l'embouchure du Mafrag et 1 420 tonnes/an de silicium à Seybouse. Le flux du $Si\text{-}Si(OH)_4$ s'affaiblit en été et en automne restant de l'ordre de 200-400 tonnes/an (Tableau 13).

A titre de comparaison, d'après Guillaud (1983) le flux du silicium dans l'estuaire de la Seine (France) est d'environ 38 000 t/an.

Tableau 13 : *Débit saisonnier à l'embouchure de l'estuaire de Mafrag et d'Oued Seybouse et valeurs du flux annuel et saisonnier de $Si\text{-}Si(OH)_4$ exprimé en tonne pour la période 2006-2007.*

		2006				2007			
		Hiver	Printemps	Eté	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Mafrag	Débit	60	40	0	0	60	40	0	0
	Flux	8 700	1 740	0	0	3 538	1 930	0	0
Seybouse	Débit					50	25	5	10
	flux					2 522	1 420	230	420

Le flux spécifique du bassin de Seybouse atteint 150-300kg/km² et celui de l'estuaire du Mafrag s'élève à environ 600kg/km².

Si on admet par ailleurs que la pluviométrie reçue par le golfe d'Annaba (3000 000m²) soit de l'ordre de 0,70m, le flux annuel moyen en silicium atmosphérique ne dépasserait pas 2 tonnes.

Il est en outre possible de quantifier le transfert du silicium de la nappe au littoral si l'on détermine le taux d'infiltration dans les bassins versants étudiés et si l'on connaît la fraction de la nappe écoulée à la mer. La pluviométrie reçue par les deux bassins de Seybouse (6 450km²) et de Mafrag (3 200km²) est en moyenne de l'ordre de 0,5m (Margat, 1997 ; ABHs, 2002), et l'infiltration est de l'ordre de 30% de la quantité d'eau tombée sur ces bassins. On considère par ailleurs que la fraction de la nappe littorale écoulée à la mer représente 25% de la réserve phréatique libre. A ces données, s'ajoutent la concentration en silicium des eaux de pluie et celle des eaux souterraines qu'on peut utiliser pour approximer le flux et la réserve traversant verticalement la nappe littorale en contact avec le golfe d'Annaba. On estime d'abord que le volume d'eau tombé sur les bassins étudiés est d'environ $5.10^9 m^3$ dont $1.5\ 10^9 m^3$ est transféré à la nappe littorale. De ces quantités souterraines environ, $0{,}37.10^9 m^3$ est écoulée à la mer. Connaissant la concentrations moyenne des eaux souterraines qui est en moyenne de l'ordre de 165µM, on estime que le flux annuel de $Si\text{-}Si(OH)_4$ atteint 1 700 tonnes.

Conclusion

A l'issue de cette étude, on retient que les teneurs des ions dans les sites étudiés varient en moyenne entre 3 et 165µM : eau souterraine> Seybouse> Mafrag> littoral> eau de pluie. De même, le rapport Si/N traduisant le niveau d'anthropisation se trouve déséquilibré dans les eaux littorales et les eaux de Seybouse particulièrement en période pluvieuse tandis que les eaux de l'estuaire du Mafrag présentent un rapport plus équilibré. D'autre part, le suivi des teneurs du silicium dans les principaux réservoirs (atmosphère, eau souterraine, eau de surface, eau de mer) montre que la reconstitution se fait notamment à partir des eaux de surface et des eaux souterraines. Sur le plan biogéochimique, le flux annuel moyen introduit au golfe d'Annaba via l'estuaire est de l'ordre de 1 500-3 000 tonnes et celui de Seybouse est de l'ordre de 1 000-2 000 tonnes. Ces quantités induiraient une production primaire annuelle d'environ 25 000-50 000 tonnes (en admettant un rapport de conversion de 11 : 1g Si produit 11g de matière organique primaire).

Enfin ces approximations de flux devraient être améliorées par un suivi sur plusieurs années et devront inclure aussi les apports de la nappe à la côte afin de mieux comprendre le cycle biogéochimique du silicium dans notre région.

Références bibliographiques

Agence de Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH). 2002. Bassin de la seybouse. Actualisation. *Les cahiers de l'agence*, 7 : 32p.

Agios-Kosmas, E. 1999. National Centre for Marine Research, Institute of Oceanography, 166 04, Athens, Greece. E-mail: aleka@ncmr.gr.

Aminot A., Chausspied M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395p.

Bougis, P. 1976. Ecologie du plancton marin. Tome I : le phytoplancton, Masson, Paris, 200p.

Aonallah , W. 2007. Hydrologie et biogéochimique d'Oued Seybouse. Département des Science de la Mer. Université de Badji Mokhtar. Annaba (Algérie).

Fekrache, F. 2007. Hydrologie et biogéochimique d'Oued Seybouse. Département des Science de la Mer. Université de Badji Mokhtar. Annaba (Algérie).

Fréhi, H. 1995. Etude de la structure et du fonctionnement du système phytoplanctonique dans un écosystème marin côtier : Eutrophisation de la Baie d'Annaba. Thèse de magister, université d'Annaba. Algérie, 160p.

Guillaud, J. F. 1983. Les flux de sels nutritifs dans l''estuaire de la Seine (France) ; role et importance du bouchon vaseux au cours du mélange estuarien.

Ingri, N. 1978. Aqueous silicic acid, silicates and silicate complexes, distribution in wounded and Pythium Ultimum infected cucumber plants Physiol. *www.theses.ulaval.ca/2006/23867/23867.pdf.*

Internet. http://fr.wikipedia.org/wiki/Silice.

Internet. www.astrosurf.com/luxorion/bioastro-chimiesi.htm.

Jacques, G. & Tréguer, P. 1986. Ecosystèmes pélagiques marins. Collection d'écologie, 19. Masson éd. Paris, 243.

Kebabsa, R. 2007. Hydrologie et biogéochimique du système estuarien du Mafrag et de ses panaches littorales. Département des Science de la Mer. Université de Badji Mokhtar. Annaba (Algérie).

Khélifi-Touhami, M., 1998. Composition et abondance du zooplancton dans les eaux côtières de l'Est algérien (Secteur eutrophie du golf d'annaba et plateau continental d'El-kala). Thèse de magister, université d'annaba. Algérie, 132p.

Khélifi-Touhami, M., Ounissi, M., Saker, I., Haridi, A., Djorfi, S. and Abdenour, C. 2006. The hydrology of the Mafrag estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. Journal of Food, Agriculture & Environment 4 (2), 340-346.

Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF), 1976. Extension du port d'Annaba: synthèse de l'étude générale des conditions naturelles dans le golfe d'Annaba. LCHF, Maisons-Alfort,50p.

Lejdel, N. 2007. Hydrologie et biogéochimique du Golf d'Annaba. Département des Science de la Mer. Université de Badji Mokhtar. Annaba (Algérie).

Lisitzin, A.P. 1999. The continental-ocean boundary as a marginal filter in the World Oceans. In: Gray, J.S., Ambrose Jr., W., Szaniawska, A. (Eds.), Biogeochemical Cycling and Sediment Ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 69–103.

Margat, J. 1997. L'eau dans le basin méditerranéen: situation et prospective. Les fascicules du Plan Bleu. Supplément. 6. UNEP-RAC/BP, Diffusion Economica, Paris, 188p.

Masashi, K. & Katsuhisa, T. 1998. National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Japan.

Mullin, J. B. & Riley, J. P. 1955. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. Anal. Chim. Actu 12.162-170.

Nelson, R. 1995. The silica balance in the world ocean : a reestimate. Science, Oregon State University, Corvallis, E-U. *www.cnrs.fr/Cnrspresse/n07a15.html.*

Ounissi, M. & Fréhi, H. 1999. Variabilité du microphytoplancton et des Tintinnides d'un secteur hautement eutrophe du golfe d'Annaba (Algérie). *Cahiers de Biologie marine*, 40 : 141-153.

Ounissi, M. 2007. Devenir et incidences des flux de matières continentales enrichissantes et polluantes dans le littoral d'Annaba. Bilan final du projet de recherche ONEDD/MATE/05/04, 11p.

Parsons, T. R. & Strickland, J. D. H. 1972. Aparatical handbook of sea water analysis. Bull. Fish. Rioh. Res. Bd. Cun 167. 311p.

Pauc, H. 1989. L'intrusion saline et la dynamique des matériaux en suspension au contact fluvio-marin : régime de crue et régime d'étiage dans l'oued Mazafran (ouest algérois). Marine geology 87, 95-102.

Pauc, H. 2003. Fonctionnement de l'estuaire microtidal méditerranéen : conséquences sédimentologique et environnementale. Comm. in 128ème Congrès des sociétés savantes, Bastia, 14-21 avril 2003.

Quéguiner, B. 2007. *Centre d'Océanologie de Marseille,* www.com.univ-mrs.fr/LOB/IMG/pdf/OBGC22_2007.pdf.

Solar Grade, S. 2005. Show stopper or infinite source [archive], Energy Research Center of the Netherlands.

Telesh, I.V. 2004. Plankton of the Baltic estuarine ecosystems with emphasis on Neva Estuary: a review of present knowledge and research perspectives. Marine Pollution Bulletin 49, 206–219.

Tréguer, P., Leynaert, A., Quéguine, B., Nelson, D.M., Bennekom, A.J., et Demaster, D.J. 1983 The silica budget of the World Ocean: a re-estimate. *Science*, 268, 375-379.

Tréguer, P. & Nelson, R. 1985. The silica balance in the world ocean. Unité associée CNRS-Université de Bretagne occidentale-Institut universitaire européen de la mer, Oregon State University.

Tréguer, P. 1995 The silica balance in the world ocean : a reestimate. Science, 268, 375-379. Unité associée CNRS-Université de Bretagne occidentale-Institut universitaire européen de la mer, Brest. *www.cnrs.fr/Cnrspresse/n07a15.html.*

Vörösmarty, B. J. 1998. Films minces de dioxyde de silicium. Haute qualite, basse temerature, György [HU/HU]; E-mail: kapuvary@gmail.com; a.vorosmarty@gmail.com Web.

Ziouche, O. R. 2007. Hydrologie et biogéochimique du système estuarien du Mafrag et de ses panaches littorales. Département des Science de la Mer. Université de Badji Mokhtar. Annaba (Algérie) 54, 23 – 29.