

LE BACTÉRIOPLANCTON DU LÉMAN

Campagne 2000

PAR

Sylvie VIBOUD et Dominique FONTVIEILLE

CARTELL¹, UNIVERSITÉ DE SAVOIE, FR - 73376 LE BOURGET-DU-LAC Cedex

RÉSUMÉ

Les mesures réalisées au cours de l'année 2000 (carbone organique dissous, biomasse et activité bactérienne) montrent que l'activité bactérienne est assez soutenue dès le début de l'année (de janvier à mars) alors que la production primaire est faible.

A partir du mois de mai, la production bactérienne est plus étroitement liée à la production phytoplanctonique. La production et le pourcentage de bactéries sont relativement élevés. A l'échelle annuelle, l'importance moyenne de la production bactérienne par rapport à la production primaire.

La comparaison inter-annuelle montre une tendance à la baisse de l'ensemble des descripteurs de la filière organique (nutriments organiques et bactéries associées). Cette baisse concerne surtout le carbone organique dissous biodégradable (CODB), le pourcentage de bactéries actives et la production bactérienne. Le stock de bactéries hétérotrophes semble toutefois ne pas subir les effets de cette diminution et le rapport de la production bactérienne à la production primaire est en forte augmentation par rapport à l'année 1999 (de l'ordre de 40 % contre 27 % environ en 1999).

1. INTRODUCTION

L'étude du bactérioplancton est un complément important apporté à l'ensemble des mesures visant à comprendre l'évolution du lac Léman. Le fonctionnement du lac est basé en effet sur deux types de nutriments, les nutriments minéraux et les nutriments organiques. Le rôle du vecteur bactérien est de rendre accessible aux étages trophiques supérieurs (les protozoaires et le zooplancton) l'énergie et les éléments que représentent les nutriments organiques, qu'ils soient d'origine allochtone ou autochtone.

Cette chaîne trophique basée sur les nutriments organiques (la boucle microbienne) est tout à la fois parallèle et complémentaire à la chaîne trophique basée sur les nutriments minéraux et le phytoplancton (chaîne dite "classique"). Le rapprochement des descripteurs de la boucle microbienne (nutriments organiques, activité et biomasse bactérienne) de ceux de la chaîne classique (production primaire et biomasse phytoplanctonique) est l'un des éléments d'appréciation des stratégies d'évolution de la productivité de l'ensemble des biocénoses pélagiques.

2. MÉTHODES

Les prélèvements sont effectués simultanément à ceux destinés aux analyses chimiques (18 profondeurs, 21 campagnes par an). Quatre mélanges sont effectués en tenant compte de l'importance relative des différentes strates dans le volume total du Grand Lac : 0 à 5 m (épilimnion), 5 à 20 m (métalimnion supérieur), 20 à 50 m (métalimnion inférieur) et 50 à 309 m (hypolimnion).

Le dénombrement des bactéries est effectué sur un sous échantillon immédiatement fixé au formol (concentration finale 5 %) et ultérieurement filtré puis coloré par un fluorochrome, le DAPI (méthode de PORTER et FEIG, 1980). Les comptages ne prennent pas en compte les classes de volumes bactériens. Aucune estimation de la biomasse totale du bactérioplancton n'a donc pas été calculée.

¹ CARTELL : Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Ecosystèmes Limniques

La production bactérienne est mesurée par la méthode de l'incorporation de la thymidine tritiée dans les acides nucléiques des bactéries (FUHRMAN et AZAM, 1982). Le facteur de conversion utilisé est de $3.86 \cdot 10^{18}$ cellules par mole de thymidine incorporée. Le choix de cette valeur a essentiellement été dicté par le souci de placer les résultats dans la continuité de ceux acquis par DUFOUR et al. de 1986 à 1990.

La concentration en bactéries métaboliquement actives (BMA) est calculée à partir de dénombrements au microscope en épifluorescence après incubation des cellules en présence de 5'cyano 2.3 di-4 tolyl tetrazolium chloride ou CTC (méthode de RODRIGUEZ et al, 1992). Le CTC est un accepteur d'électrons qui entre en compétition avec les accepteurs naturels de la voie finale commune. Le CTC réduit (CTC-formazan) émet une fluorescence rouge sous l'excitation de la source UV d'un microscope. Le rapport des concentrations des bactéries "CTC-actives" à celui des bactéries dénombrées après coloration au DAPI est une indication du pourcentage de bactéries actives.

Deux mesures complémentaires sont réalisées sur le plan des nutriments organiques en tant que substrats potentiels pour le métabolisme bactérien, celle du carbone organique dissous (COD, oxydation par l'association persulfate de sodium-UV et détection infra rouge), celle du carbone organique dissous biodégradable (CODB, méthode de SERVAIS et al, 1987) et par différence, celle du carbone organique dissous réfractaire (CODR).

Pour aider à l'interprétation, les campagnes ont été groupées en "saisons" sur la base de la stratification thermique, de la situation de la phase des eaux claires et de l'abondance du phytoplancton :

- p = printemps (campagnes du 10/04/00 au 09/05/00),
- ec = eaux claires (campagnes du 23/05/00 et du 13/06/00),
- e = été (campagnes du 28/06/00 au 11/09/00),
- a = automne (campagnes du 25/09/00 au 18/12/00),
- h = hiver (campagnes du 10/01/00 au 21/03/00).

3. RÉSULTATS

3.1 Evolution saisonnière des descripteurs

3.1.1 Le carbone organique dissous

- **Strates supérieures (0-20 m)**

La concentration du carbone organique dissous (COD) dans les strates supérieures a varié au cours de l'année 2000 de 0.9 à 2.6 ppm (figure 1A). Les minimums sont observés au cours des mois de mars et d'avril, périodes correspondant pourtant à l'apparition des premiers pics printaniers du phytoplancton (LEBOULANGER, 2000). Les pics les plus élevés de COD se situent durant les campagnes du mois de juin et du mois d'août en liaison avec l'augmentation de la biomasse et de la production phytoplanctonique. La figure 2A montre que la moyenne et la variabilité de la concentration en COD sont plus élevées lors de la période des eaux claires et en été (CV = 30 %). En automne la concentration de COD reste relativement élevée, là encore en liaison avec la production primaire qui est alors encore assez importante.

La part biodégradable du carbone organique dissous (CODB) représente dans les strates supérieures de 0.8 à 83 % du carbone dissous total (figure 1B). La valeur de 83 % observée isolément le 11 avril semble être liée à l'existence d'une importante biomasse phytoplanctonique. La figure 2B montre qu'à l'exception de cette date, le pourcentage de CODB de la strate 0-5m est plus élevé en hiver et en été avec des valeurs moyennes de 20 %. Il est à noter cependant que les valeurs de plusieurs campagnes sont absentes en raison des problèmes techniques rencontrés à plusieurs reprises au cours de l'année 2000.

- **Strates inférieures (20-309 m)**

La concentration de COD varie au cours de l'année de 0.8 à 1.9 ppm (figure 1A). Les variations sont moins importantes que dans les strates supérieures (figure 2A) et plus marquées en début d'année, aussi bien en hiver et au printemps que pendant la phase des eaux claires.

La part biodégradable du carbone organique dissous (CODB) varie de 0.8 à 54 % (figure 1B). La valeur maximale (54 %) est observée en période hivernale. Comme dans le cas des strates supérieures (0-5 m), les variations les plus importantes du pourcentage du CODB sont observées en hiver et en été (figure 2B).

3.1.2 Les bactéries hétérotrophes totales et métaboliquement actives

- **Ensemble de la colonne d'eau**

La figure 7 montre que la stratification des bactéries hétérotrophes est marquée à partir du mois d'avril et jusqu'en décembre. Toutes périodes confondues, la variabilité de la concentration des bactéries hétérotrophes est plus élevée dans les strates supérieures de la colonne d'eau (figure 4 A et figure 7).

- **Strates supérieures (0-20 m)**

Dans ces strates, la concentration des bactéries hétérotrophes a varié au cours des différentes campagnes de $1 \cdot 10^7$ à $8 \cdot 10^5$ bact/ml (figure 3A). Les valeurs moyennes et les valeurs maximales sont observées à la fin du printemps (campagne du 9 mai) et pendant la phase des eaux claires (figure 4A). La date du 9 mai correspond à l'apparition du 2^e pic phytoplanctonique (LEBOULANGER, 2000). Le nombre de bactéries reste élevé pendant la phase des eaux claires sans doute en relation avec la lyse de nombreuses cellules phytoplanctoniques. La figure 4A montre que dans la strate 0-5m, la variabilité des concentrations est plus importante au printemps et en période estivale. Dans la strate 5-20 m, la moyenne des bactéries hétérotrophes est plus élevée pendant la phase des eaux claires alors que la variabilité la plus grande est observée en période estivale. Le maintien en automne, d'une forte concentration en bactéries peut s'expliquer par la persistance d'une biomasse phytoplanctonique relativement importante (LEBOULANGER, 2000).

La concentration des bactéries hétérotrophes métaboliquement actives (CTC-actives) des strates supérieures varie de $3.2 \cdot 10^5$ à $1.4 \cdot 10^4$ bact/ml (figure 3B). Les valeurs maximales sont observées lors des campagnes du 9 mai, du 8 août et du 22 novembre. Le 9 mai, le pourcentage de bactéries actives n'est cependant pas élevé (figure 5A), ce qui indique que l'échantillonnage se situait à la fin de la période de croissance qui a conduit à la forte concentration des bactéries hétérotrophes totales. A cette époque, le nombre de bactéries actives ne semble pas être influencé par l'abondance du phytoplancton. Les figure 3B et figure 5A montrent qu'au cours des autres campagnes, l'augmentation du nombre de bactéries actives s'accompagne d'une augmentation du pourcentage de bactéries actives et peut être rapprochée des augmentations de l'activité phytoplanctonique.

La figure 4B montre que la moyenne et la variabilité des concentrations de bactéries actives sont plus élevées dans la strate 0-5 m (à l'exception de la période hivernale) que dans la strate 5-20 m. Les différences s'établissent surtout en terme de variabilité plus élevée en période estivale et hivernale dans la strate 0-5 m et en été seulement dans la strate 5-20 m. Les différences sont moins nettes en terme de pourcentage de bactéries actives (figure 6A).

- **Strates inférieures (20-309 m)**

Dans ces strates, le nombre total de bactéries hétérotrophes varie de $3 \cdot 10^5$ à $3 \cdot 10^6$ bact/ml (figure 3A). Les valeurs sont généralement plus élevées dans la strate 20-50 m que dans la strate 50-309 m. Les variations au cours de l'année sont relativement faibles quelle que soit la saison (figure 4A).

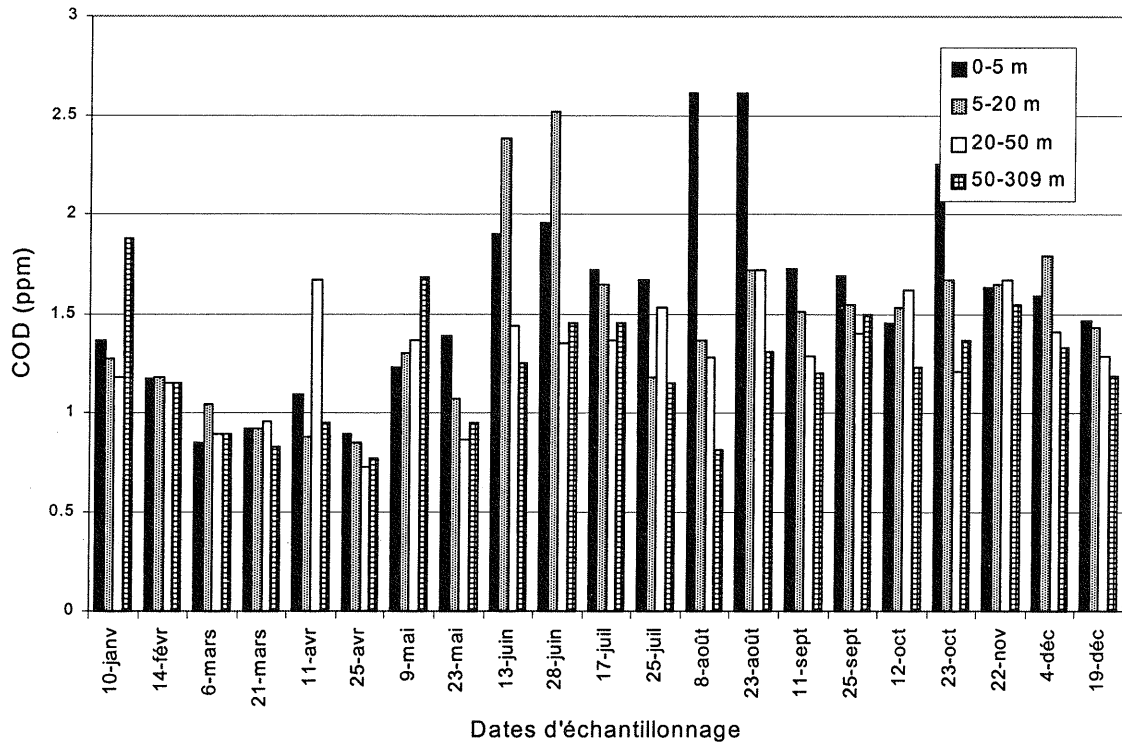
La concentration des bactéries actives dans les strates inférieures varie de $4 \cdot 10^2$ à $1.8 \cdot 10^5$ bact/ml (figure 3B). Les valeurs les plus élevées sont observées en période estivale (25 juillet) et en automne (25 septembre et, notamment, le 22 novembre). La figure 4B montre que la moyenne et surtout la variabilité sont plus importantes en été, et en automne. Cette activité automnale relativement soutenue est sans doute à mettre en relation avec la présence de diatomées qui ont effectivement été observées à cette époque jusqu'à 100 m de profondeur (LEBOULANGER, 2000). L'augmentation du nombre de bactéries actives dans les strates inférieures en période estivale et automnale s'accompagne généralement de l'augmentation de leur pourcentage vis-à-vis de l'ensemble de la population bactérienne (figure 5A). La figure 6 montre que la variabilité du pourcentage de bactéries actives est effectivement plus importante en période estivale et automnale.

3.1.3 La production bactérienne

- **Strates supérieures (0-20 m)**

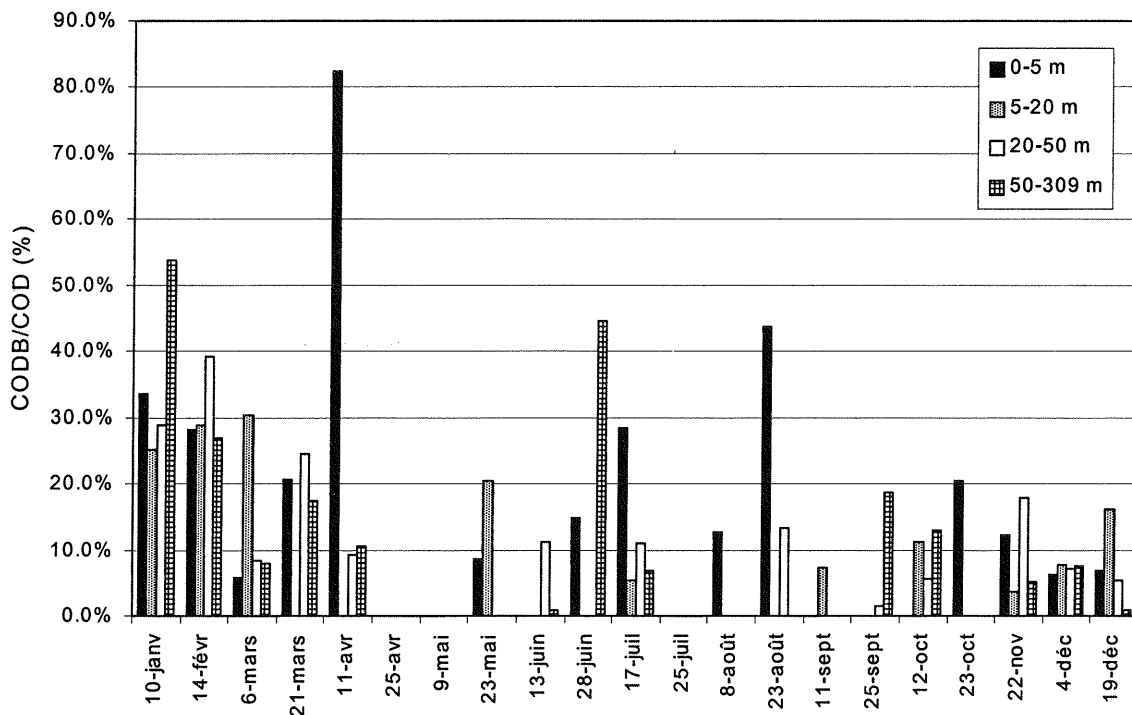
La production bactérienne varie de 2.2 à 717 ng C/l.h dans les strates supérieures (figure 5B). Les valeurs maximales sont observées dans la strate 0-5 m avec des valeurs supérieures à 100 ng C/l.h et ceci pendant une longue période (du 9 mai au 23 août). Une valeur remarquable de 717 ng C/l.h est atteinte le 9 mai, en correspondance avec l'apparition d'un pic de concentration phytoplanctonique. La production bactérienne reste relativement élevée en période automnale (le 23 octobre et le 22 novembre notamment) avec des valeurs proches de 50 ng C/l.h. La figure 6B montre que sa variabilité est plus grande en période estivale et en période automnale en particulier dans la strate 0-5m.

Carbone Organique Dissous



A

Pourcentage de carbone organique dissous biodégradable



B

Figure 1 : Variations saisonnières et stratification de la concentration du carbone organique dissous (COD, A) et de l'importance relative du carbone organique dissous biodégradable (CODB, B) au point SHL2 en 2000. L'absence d'histogramme à certaines strates et certaines dates indique que la valeur est manquante (et non égale à zéro)

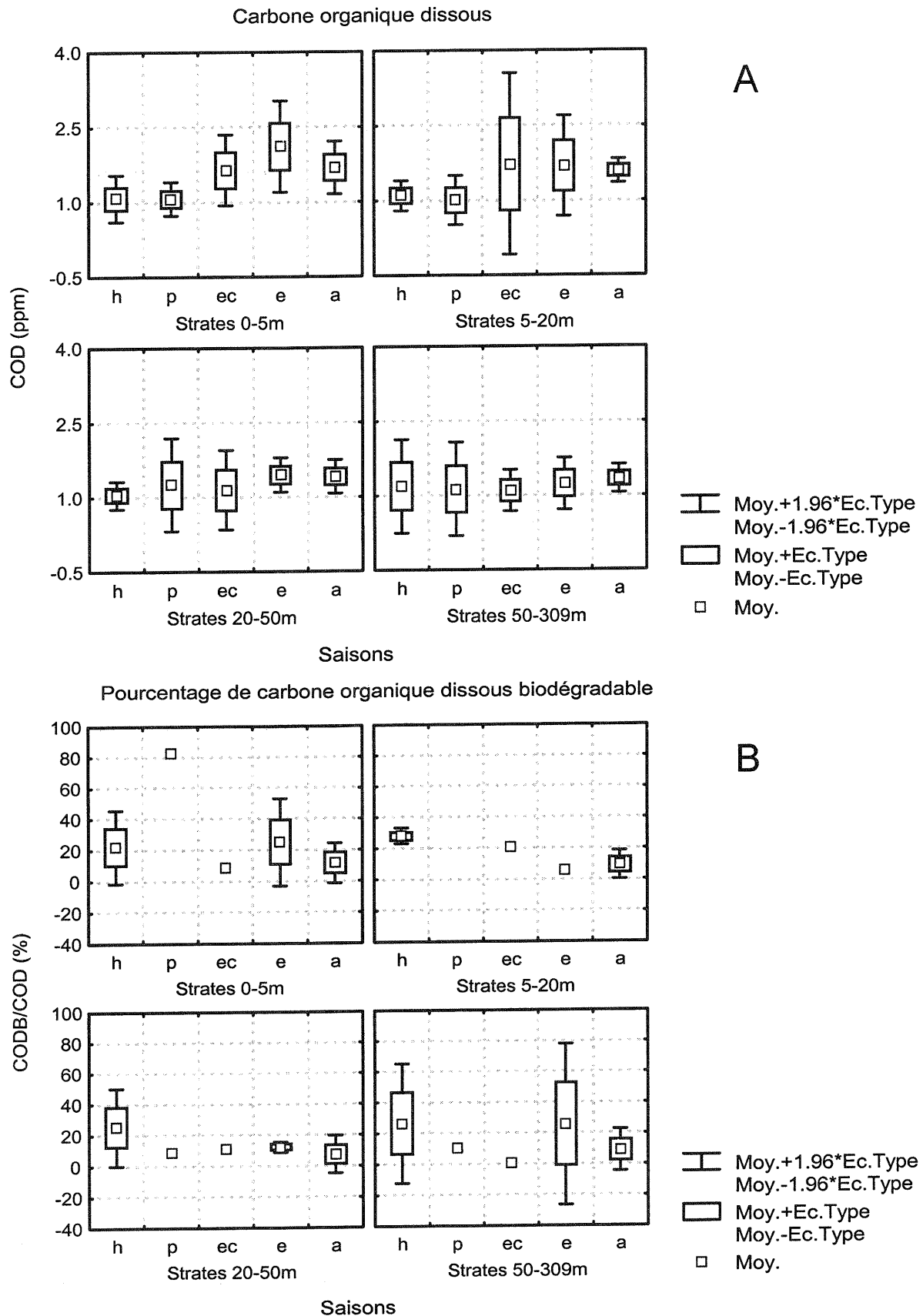


Figure 2 : Valeurs moyennes et variabilité du carbone organique dissous (COD) et de l'importance relative du carbone organique dissous biodégradable (CODB) par strate et par saison (campagne 2000). p = printemps (campagnes du 10/04 au 9/05), ec = eaux claires (campagnes du 23/05 et du 13/06), e = été (campagnes du 28/06 au 11/09), a = automne (campagnes du 25/09 au 18/12), h = hiver (campagnes du 10/01 au 21/03)

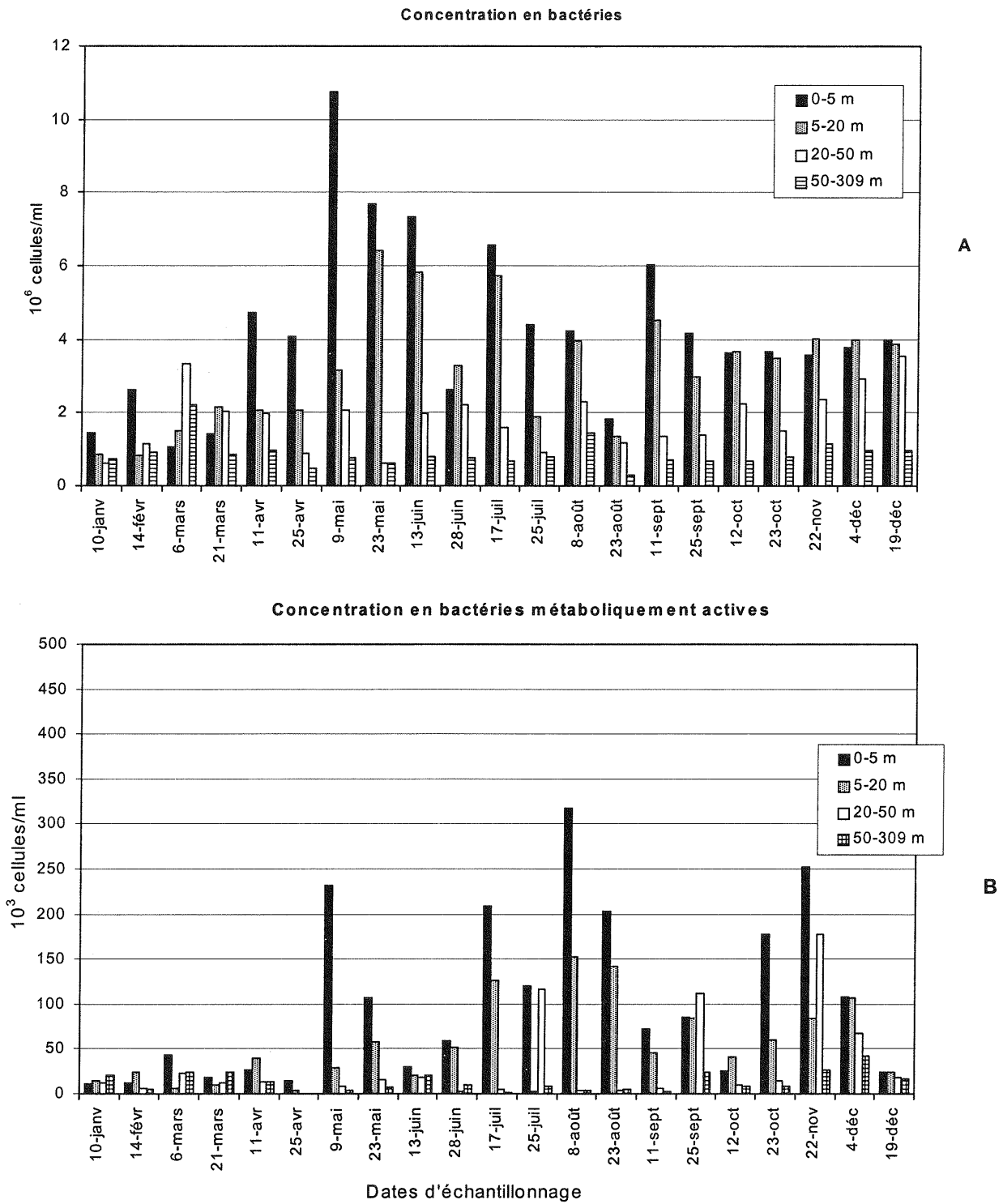


Figure 3 : Variations saisonnières et stratification de la concentration des bactéries totales (coloration au DAPI, A) et des bactéries métaboliquement actives ((marquées au CTC-formazan, B) au point SHL2 en 2000.

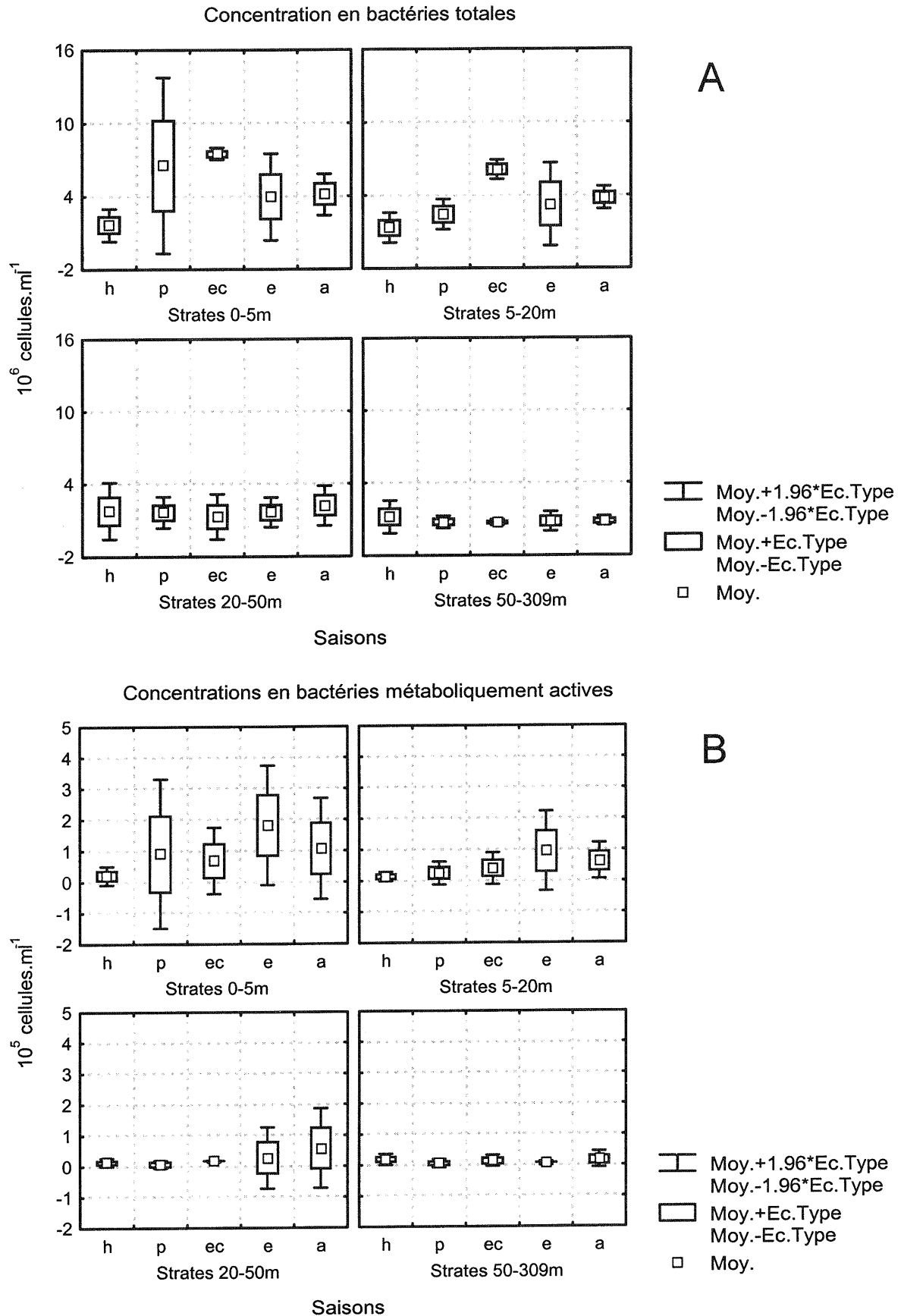
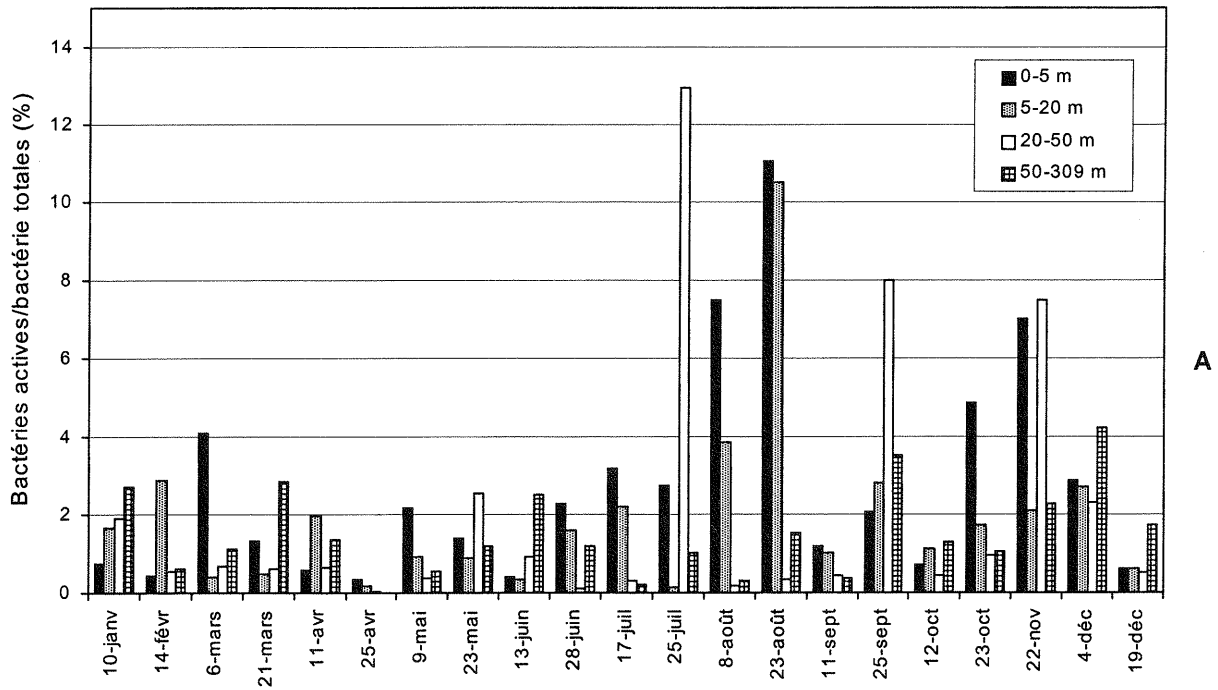


Figure 4 : Valeurs moyennes et variabilité de la concentration des bactéries totales (coloration au DAPI, **A**) et des bactéries métaboliquement actives (marquées au CTC-formazan, **B**), par strate et par saison (campagne 2000). P = printemps (campagnes du 10/04 au 9/05), ec = eaux claires (campagnes du 23/05 et du 13/06), e = été (campagnes du 28/06 au 11/09), a = automne (campagnes du 25/09 au 18/12), h = hiver (campagnes du 10/01 au 21/03)

Pourcentage de bactéries métaboliquement actives



Production bactérienne

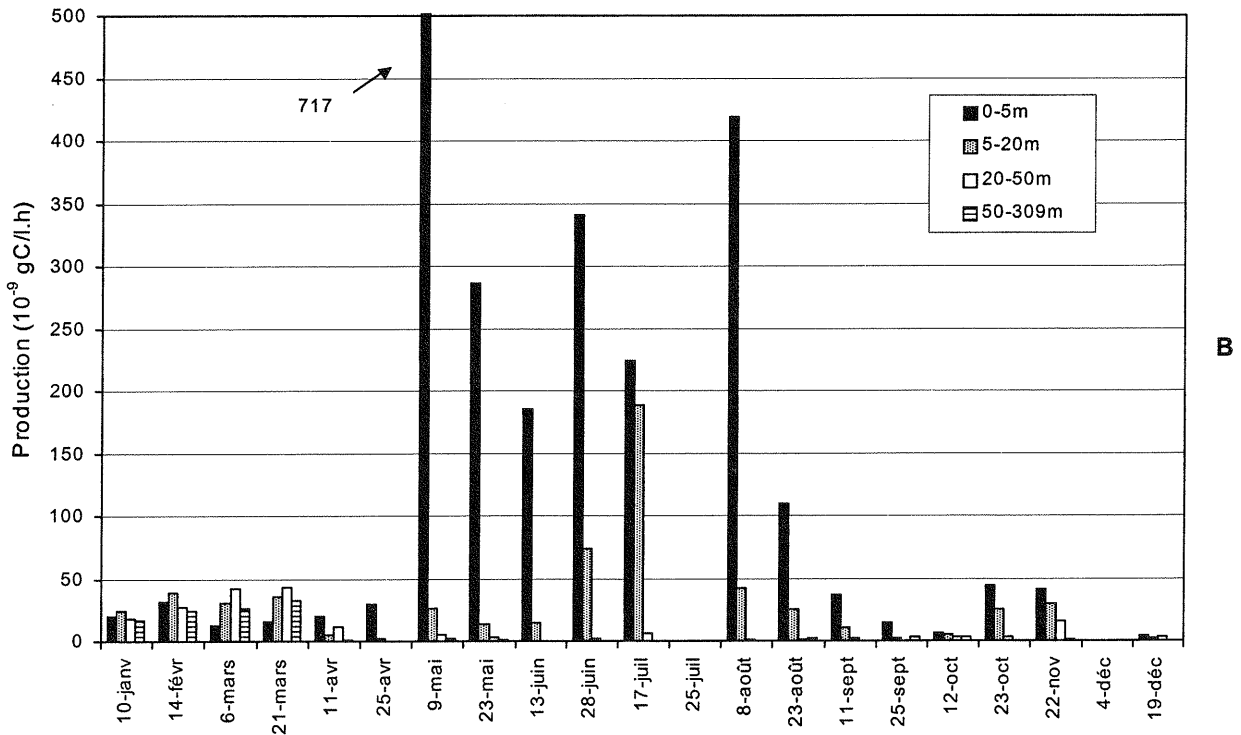


Figure 5 : Variations saisonnières et stratification du pourcentage des bactéries métaboliquement actives vis à vis de la concentration de l'ensemble des bactéries (A) et de la production bactérienne au point SHL2 (B, * données manquantes) au point SHL2 durant l'année 2000

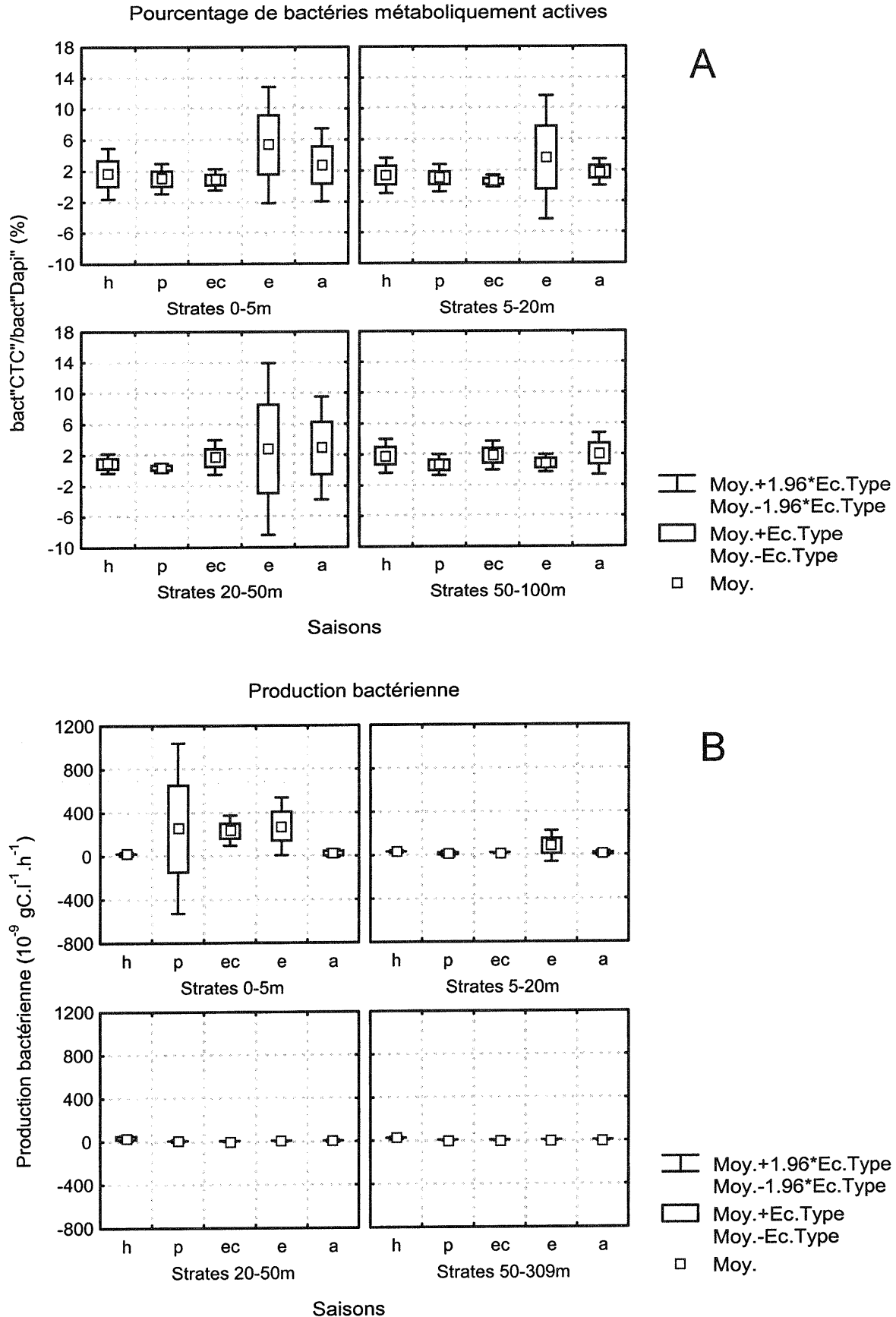


Figure 6 : Valeurs moyennes et variabilité par strate et par saison du pourcentage des bactéries métaboliquement actives vis-à-vis de la concentration de l'ensemble des bactéries (marquées au CTC-formazan, **A** et de la production bactérienne, **B**). Campagne 2000. p = printemps (campagnes du 10/04 au 9/05), ec = eaux claires (campagnes du 23/05 et du 13/06), e = été (campagnes du 28/06 au 11/09), a = automne (campagnes du 25/09 au 18/12), h = hiver (campagnes du 10/01 au 21/03)

Tableau 1 - Valeurs des descripteurs intégrés sur la totalité de la colonne d'eau (campagnes 2000)

Dates	Bac. tot. (cell./ m ²)	Bact. Activ. (cell. / m ²)	Bact. Activ. (%)	Product. Bact. (mgC / m ² .j)	COD (mg / m ²)	CODB (mg / m ²)	CODR (mg / m ²)	CODB / COD (%)	Prod. Phytopl. (mgC / m ² .j)	Prod. Bact. / Prod. Phytopl. (%)
10.01.00	2.32E+14	5.83E+12	2.5	158.5	5.48E+05	2.79E+05	2.69E+05	50.9	34	466.2
14.02.00	2.95E+14	2.00E+12	0.7	236.9	3.56E+05	1.01E+05	2.55E+05	28.2	173	136.9
06.03.00	7.01E+14	7.33E+12	1.0	282.4	2.77E+05	2.54E+04	2.52E+05	9.2	393	66.8
21.03.00	3.25E+14	6.97E+12	2.1	309.4	2.62E+05	4.56E+04	2.03E+05	17.4	1'223	25.3
11.04.00	3.68E+14	4.60E+12	1.2	25.7	3.15E+05	3.51E+04	2.67E+05	11.1	634	4.1
25.04.00	2.02E+14	1.34E+11	0.1	9.3	2.39E+05				2'663	0.3
09.05.00	3.63E+14	2.92E+12	0.8	117.3	5.02E+05				1'913	6.1
23.05.00	3.16E+14	3.78E+12	1.2	52.1	2.95E+05	3.90E+03	1.91E+04	1.3	834	6.2
13.06.00	3.91E+14	6.22E+12	1.6	30.0	4.12E+05	7.39E+03	3.60E+05	1.8	950	3.2
28.06.00	3.26E+14	3.50E+12	1.1	82.1	4.64E+05	1.69E+05	2.17E+05	36.3	2'381	3.4
17.07.00	3.46E+14	3.44E+12	1.0	126.3	4.50E+05	3.42E+04	4.16E+05	7.6	1'826	6.9
25.07.00	2.83E+14	6.22E+12	2.2		3.70E+05				1'278	
08.08.00	5.24E+14	5.08E+12	1.0	74.7	2.82E+05	1.65E+03	1.14E+04	0.6	2'151	3.5
23.08.00	1.44E+14	4.46E+12	3.1	43.8	4.30E+05	1.26E+04	5.21E+04	2.9	1'622	2.7
11.09.00	3.23E+14	1.89E+12	0.6	13.7	3.81E+05	1.65E+03	2.10E+04	0.4	910	1.5
25.09.00	2.81E+14	1.11E+13	4.0	29.7	4.62E+05	7.31E+04	3.57E+05	15.8	789	3.8
12.10.00	3.14E+14	3.30E+12	1.0	31.3	3.97E+05	4.67E+04	3.43E+05	11.7	367	8.5
23.10.00	3.21E+14	4.39E+12	1.4	21.3	4.27E+05	2.30E+03	8.95E+03	0.5	425	5.0
22.11.00	4.49E+14	1.46E+13	3.3	48.0	4.84E+05	3.16E+04	4.53E+05	6.5	524	9.2
04.12.00	4.22E+14	1.50E+13	3.5		4.22E+05	3.15E+04	3.90E+05	7.5	620	
19.12.00	4.37E+14	5.37E+12	1.2	8.7	3.76E+05	8.64E+03	3.67E+05	2.3	1'193	0.7
Moyennes	3.51E+14	5.63E+12	1.6	88.5	3.88E+05	5.05E+04	2.37E+05	11.8	1'091	40.0

- **Strates inférieures (20-309 m)**

Dans cette zone, la production bactérienne varie de 0.2 à 43 ng C/l.h (figure 5B). Les valeurs sont plus élevées en période hivernale. A cette période, la production bactérienne des strates inférieures est du même ordre de grandeur que celle mesurée dans les strates supérieures. La figure 6B montre par contre que sa variabilité est très faible par comparaison avec celle des strates supérieures.

3.2 Valeurs intégrées des descripteurs et importance de la production bactérienne par rapport à la production primaire

Le calcul des valeurs intégrées des descripteurs sur la hauteur de la colonne d'eau permet de comparer plus aisément les descripteurs de la boucle microbienne (nutriments organiques, biomasses et production bactérienne) et ceux de la chaîne classique (biomasse et production photosynthétique).

Le tableau 1 montre que la production bactérienne représente de 0.7 à 466 % de la production photosynthétique. Elle est relativement élevée au cours de la période hivernale (de janvier à mars), période durant laquelle la photosynthèse est la plus faible. C'est à cette période que le maximum du nombre de bactéries totales et actives hétérotrophes est observé. Il en est de même concernant la concentration en matière organique dissoute qui n'est donc probablement pas un facteur limitant à cette époque. Il est à noter que les valeurs maximales de COD et de CODB sont atteintes durant cette période malgré l'absence de la stratification, ce qui est l'indication d'un stock particulièrement important de ces nutriments.

La figure 8 montre que la production bactérienne est étroitement liée à la production phytoplanctonique, excepté pendant la période hivernale (de janvier à mars) durant laquelle la production bactérienne serait soutenue par du COD d'origine plutôt allochtone.

Tableau 2 - Moyennes annuelle par strate et écarts-types des descripteurs des communautés bactériennes et leurs nutriments organiques

Strates	Bactéries totales (cellules/ml)		Bactéries actives (cellules/ml)		% Bactéries actives	Production bactérienne (ng FC/l.h)	
	Moyennes	Ecart-type	Moyennes	Ecart-type	Moyennes	Moyennes	Ecart-type
0 - 5 m	4.27E+06	2.36E+06	1.02E+05	9.33E+04	2.40	134.88	189.83
5 - 20 m	3.22E+06	1.59E+06	5.35E+04	4.61E+04	1.66	31.43	42.02
20 - 50 m	1.82E+06	8.25E+05	3.08E+04	4.74E+04	1.69	9.84	13.56
50 - 309 m	8.74E+05	3.85E+05	1.31E+04	1.07E+04	1.50	6.12	10.36

Strates	COD (mgC/l)		CODB (mgC/l)		% CODB	
	Moyennes	Ecart-type	Moyennes	Ecart-type	Moyennes	Ecart-type
0 - 5 m	1.58	0.50	0.37	0.31	23.2	20.5
5 - 20 m	1.45	0.44	0.20	0.10	15.6	10.0
20 - 50 m	1.30	0.27	0.18	0.12	14.1	10.8
50 - 309 m	1.23	0.30	0.23	0.29	16.5	16.3

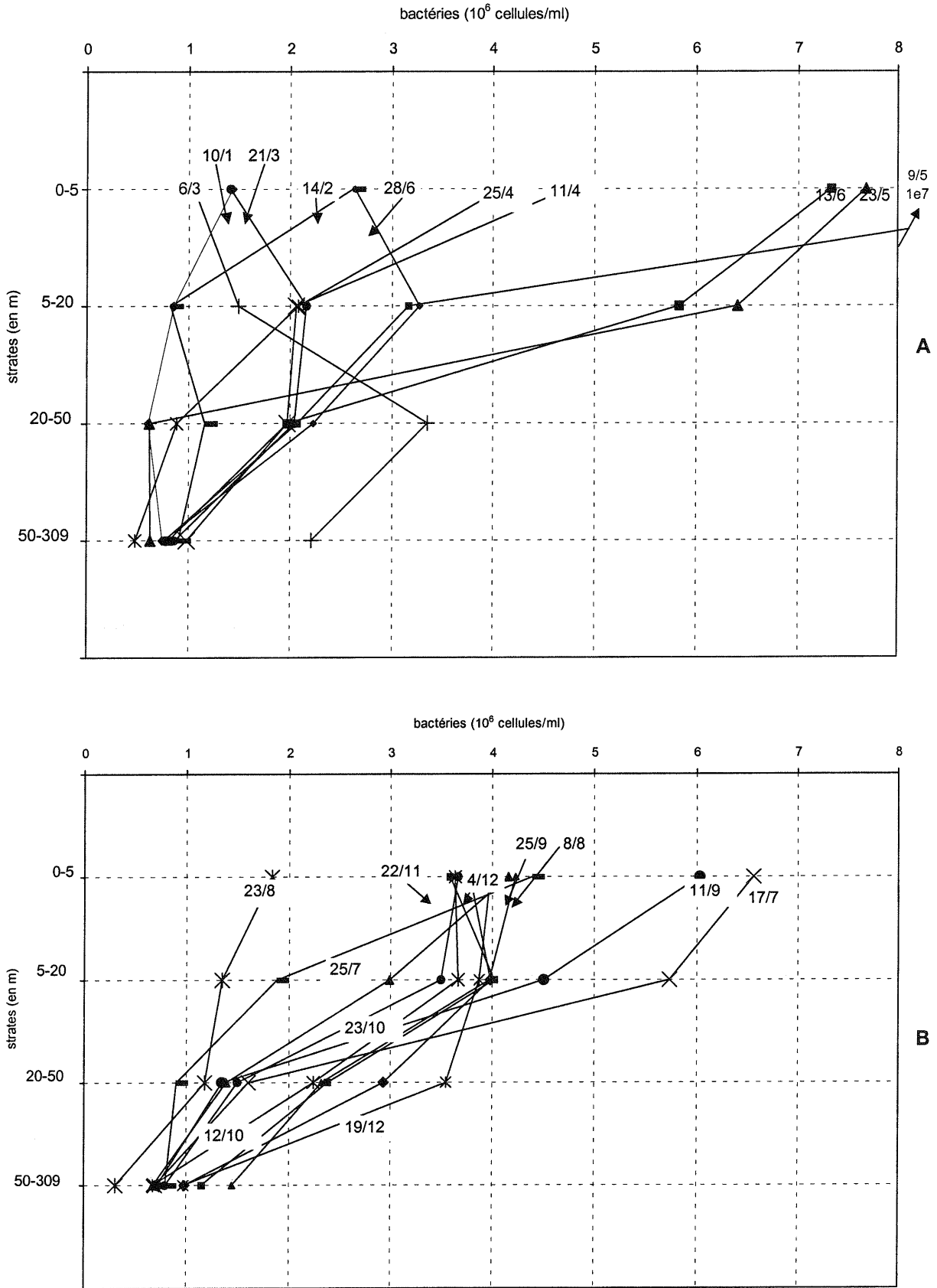
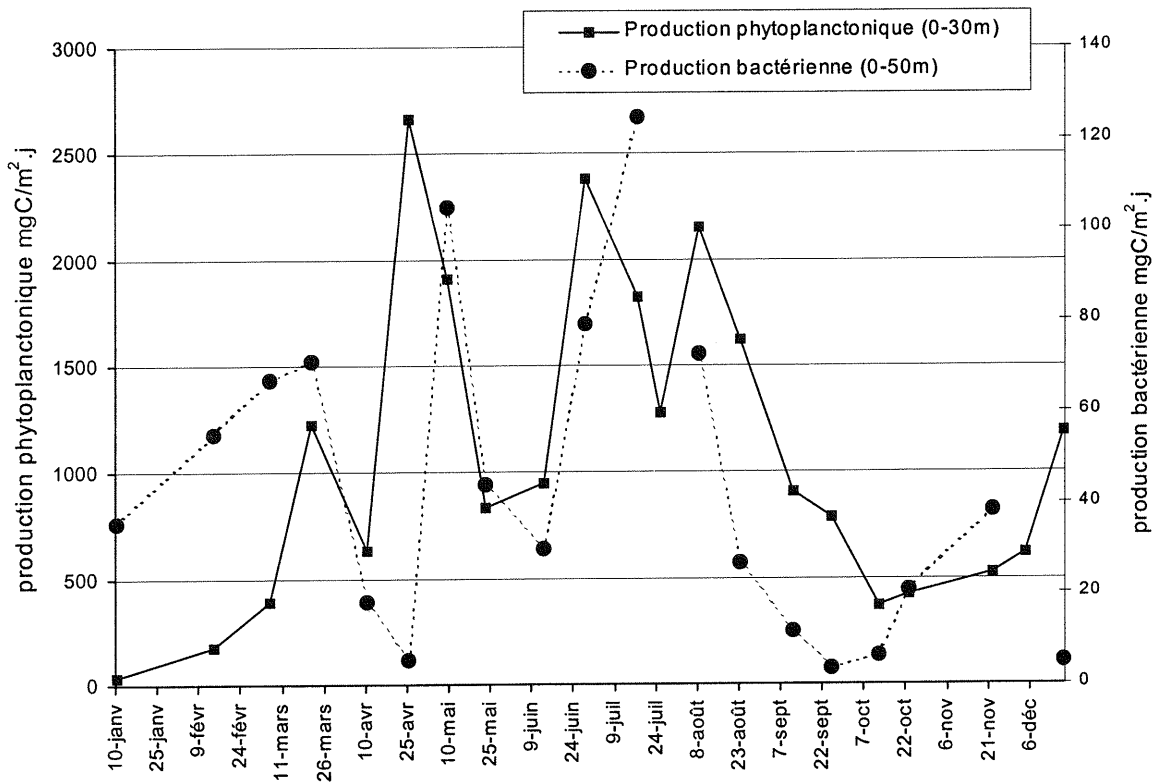


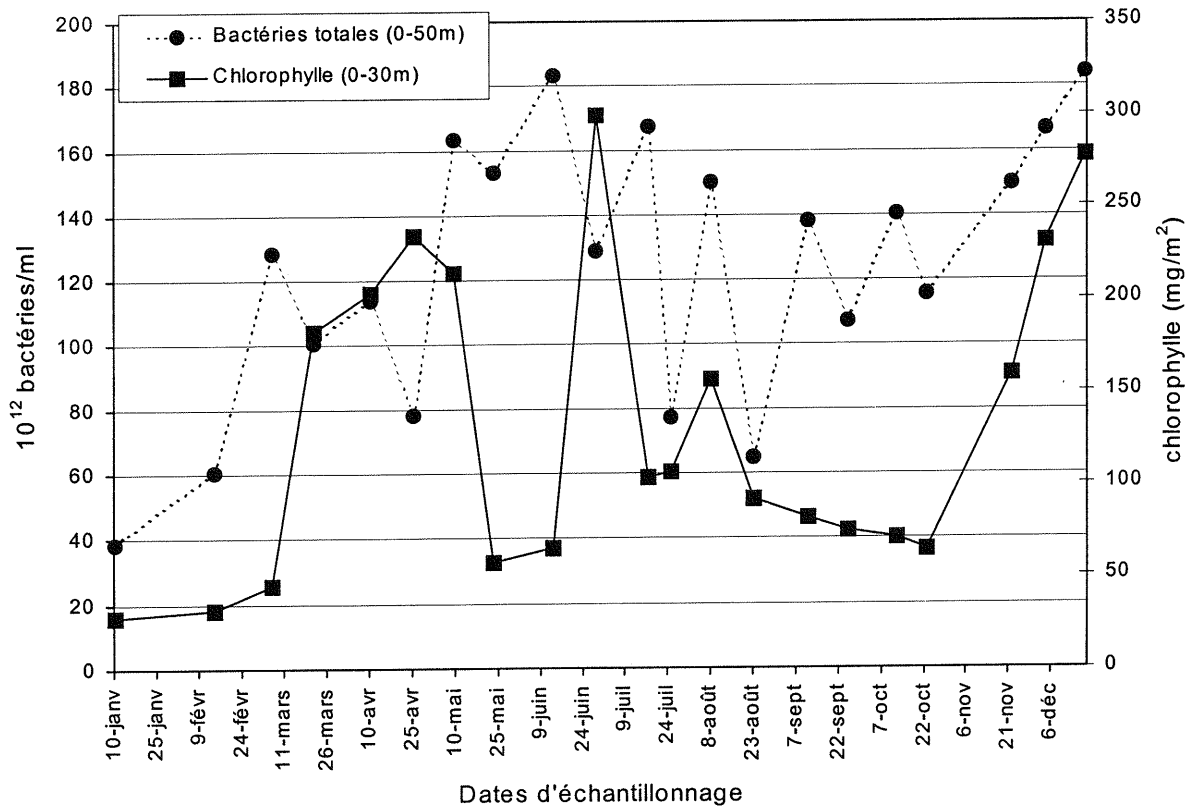
Figure 7 : Evolution saisonnière de la stratification de la concentration des bactéries (dénombrement après coloration au DAPI) au point SHL2 durant l'année 2000.

A : 1er semestre

B : 2ème semestre



A



B

Figure 8 : Comparaison de l'évolution saisonnière du bactérioplancton et du phytoplancton en terme d'activité (A) et de biomasse (B). Campagne 2000

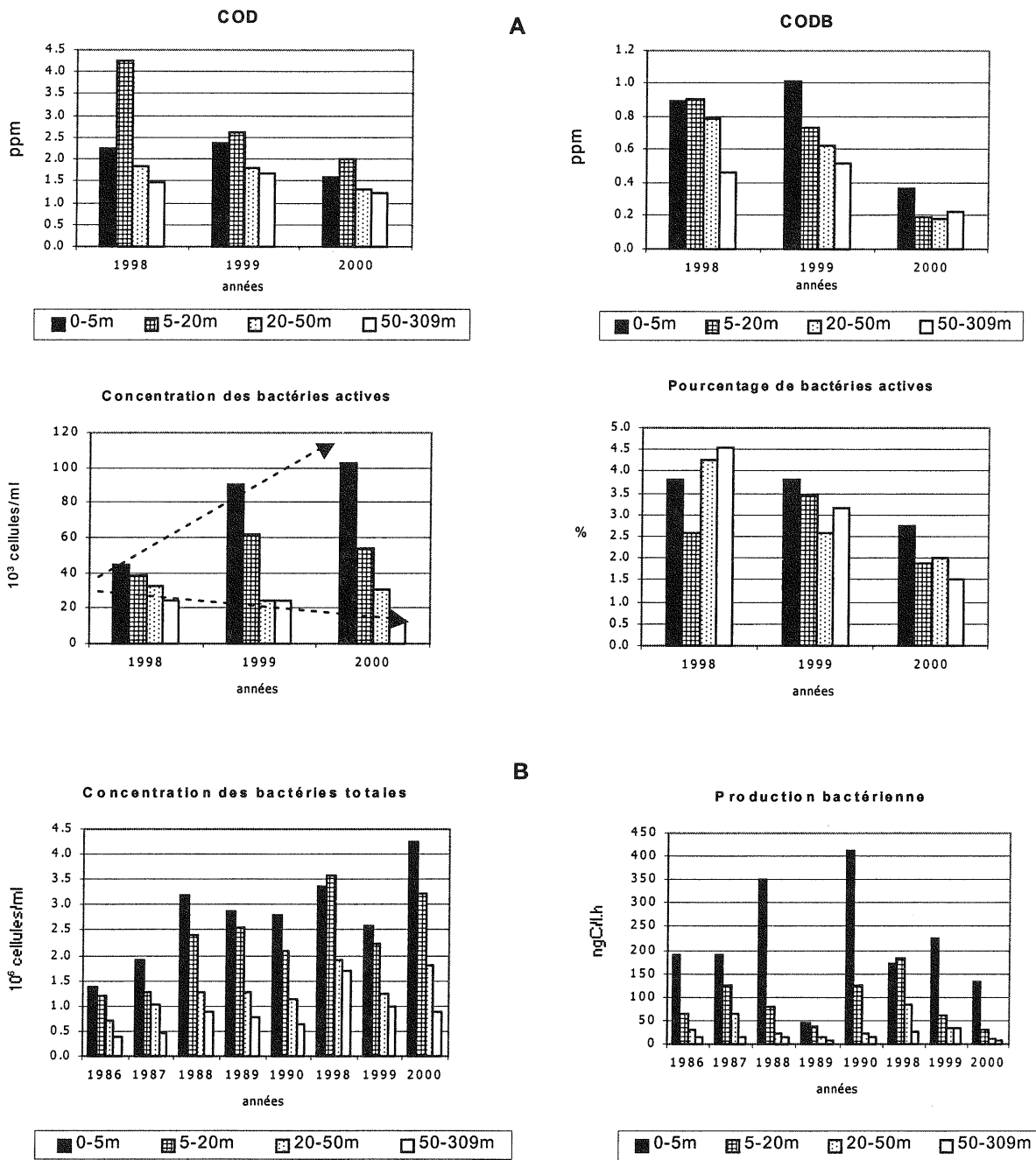


Figure 9 : Evolution du COD, du CODB, de la concentration et du pourcentage de bactéries actives par strates de 1998 à 2000 (A) et du nombre de bactéries totales et de la production bactérienne par strate de 1986 à 2000 (B)

4. CONCLUSIONS

4.1 Evolution intra-annuelle

Au cours des premiers mois de l'année 2000 (de janvier à avril), le pourcentage de bactéries actives et la production bactérienne semblent ne pas être très corrélées à l'activité phytoplanctonique. Durant cette période, la quantité de carbone organique n'est pas très élevée (1 ppm en moyenne, figure 1A), mais le COD est constitué pour une grande part de carbone biodégradable (26 % en moyenne, figure 1B). Ce résultat est en accord avec le fait que les exsudats phytoplanctoniques liés à la production primaire constituent l'une des principales sources de carbone organique dissous biodégradable. La production bactérienne est alors relativement importante et distribuée de façon assez homogène entre les différentes strates (figure 3 et figure 5). Cette homogénéité serait l'indication d'un brassage efficace des différentes strates pendant la période d'homothermie. La part du COD allochtone dans le COD total devait alors être importante en raison de la faible activité phytoplanctonique.

A partir du mois de mai et jusqu'à la fin de l'année 2000, l'activité et la biomasse bactérienne semblent être plus fortement liées à l'activité phytoplanctonique. Les maximums de la concentration totale de bactéries et de la production bactérienne sont observés le 9 mai, et coïncident avec l'apparition d'un pic phytoplanctonique. A cette date, la production bactérienne conduit à une augmentation du stock de bactéries totales et actives sans augmentation du pourcentage de bactéries actives.

A la fin du mois juillet jusqu'à la fin du mois d'août, la production bactérienne est relativement forte, le nombre et le pourcentage de bactéries actives augmentent alors que l'ensemble de la population des bactéries tend à diminuer (figure 3 et figure 5). Ce résultat pourrait être l'indication d'une forte prédation par les étages trophiques supérieurs (protozoaires, zooplancton). Les bactéries hétérotrophes participeraient alors à la production générale du lac à travers le transfert d'une partie importante de leur biomasse vers les étages trophiques supérieurs.

En fin d'année, la concentration totale des bactéries reste relativement stable. Lors des campagnes du 23 octobre et du 22 novembre, la production bactérienne est assez élevée et conduit à une augmentation du nombre et du pourcentage des bactéries actives.

Les moyennes des descripteurs par strates toutes périodes confondues montrent une stratification assez marquée de la concentration des bactéries totales et actives, ainsi que de la production bactérienne (tableau 2). Le pourcentage de bactéries actives est plus élevé dans la strate de surface (0-5 m) que dans les autres strates qui, par ailleurs, diffèrent peu entre elles. Cette distribution est proche de la stratification verticale observée pour la concentration en CODB.

4.2 Comparaison inter-annuelle et comparaison avec d'autres lacs alpins

La comparaison des moyennes annuelles des descripteurs (figure 9A) montre que la concentration en COD tend à diminuer au cours des trois dernières années. Cette baisse est particulièrement manifeste pour la concentration en CODB, surtout entre les années 1999 et 2000. L'importance du CODB vis-à-vis de la concentration en COD est maintenant inférieure à celle mesurée en 1998 dans le lac d'Annecy considéré alors comme oligo-mésotrophe (GERDEAUX *et al.*, 1999).

Le pourcentage de bactéries actives tend lui aussi à diminuer au cours des trois dernières années, probablement en correspondance avec la baisse des nutriments organiques. La valeur moyenne de ce pourcentage est trois fois plus faible dans le lac Léman que dans les lacs voisins (lac du Bourget, lac d'Annecy, GAYTE *et al.*, 1998; GERDEAUX *et al.*, 1999). En terme d'effectifs, une nette opposition apparaît entre la strate 0-5 m dans laquelle la concentration des bactéries actives croît depuis 3 ans et la strate 50-309 m où elle a tendance à décroître.

Les résultats ne font pas apparaître de tendance claire de l'évolution de la concentration en bactéries totales dans les trois strates supérieures depuis 1988. Leur concentration diminue par contre depuis 1998 dans la strate 50-309 m. On relève également un accroissement de l'amplitude des variations de la concentration des bactéries totales et actives (augmentation des maximums au niveau de la strate 0-5 m et diminution des minimums au niveau de la strate 50-309 m). Ces variations pourraient traduire l'irrégularité inter annuelle des apports de nutriments organiques au lac et le fait qu'ils deviennent limitant au moins durant certaines périodes.

La figure 9B montre enfin que la production bactérienne tend, elle aussi, à diminuer. L'ensemble des résultats suggère que cette diminution est due à la limitation de la ressource organique plutôt qu'à un accroissement de la pression de prédation malgré l'augmentation de la population de rotifères constatée par ailleurs (BALVAY, 2000). La production bactérienne est ainsi plus de 2 fois inférieure à celle mesurée en 1996 dans le lac du Bourget alors qu'il était considéré comme méso-eutrophe (GAYTE *et al.*, 1998). Elle est aussi 5 fois inférieure à celle du lac d'Annecy en 1998 considéré comme oligo-mésotrophe (GERDEAUX *et al.*, 1999). Ces valeurs permettent de conclure provisoirement à une efficacité encore médiocre des transferts de carbone à travers la boucle microbienne.

BIBLIOGRAPHIE

- BALVAY, G. (2001) : Evolution du zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.
- DUFOUR, P et COLON, M. (1991) : Le bactérioplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1990, 83-89.
- FUHRMAN, J.A. et AZAM, F. (1982) : Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters : evaluation and field results. Mar.Biol., 66, 109-120.
- GAYTE, X., VINCON-LEITE, B., FONTVIEILLE, D., TASSIN, B., BLANC, P. PELLETIER, J.P. et BALVAY, G. (1998) : Evolution des apports de nutriments et de l'état trophique du lac du Bourget. Rapport au District Urbain de la Cluse de Chambéry (DUCC) et à l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 310p.
- GERDEAUX, D., VERNEAUX, V., VIBOUD, S., FONTVIEILLE, D., ANGELI, N., ROSSO-DARMET, A. et LAFONT, M. (1999) : Le fonctionnement trophique du lac d'Annecy. Rapport de fin de contrat, IXème Contrat Plan Etat-Région, Région Rhône-Alpes, 111p.
- LEBOULANGER, C. (2001) : Dynamique de la production phytoplanctonique et de la biomasse dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.
- PORTER, K.G. et FEIG, Y.S. (1980) : Use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. Limnol.Oceanogr., 25, 943-948.
- REVACLIÉ, R. et DRUART, J.C. (2000) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999, 67-78.
- RODRIGUEZ, G.G., PHIPPS, D., ISHIGURO, K.R. et RIDGWAY, H.F. (1992) : Use of a fluorescent redox probe for direct visualization of actively respiring bacteria. Appl.Environ.Microbiol., 58(6), 1801-1808.
- SERVAIS, P., BILLEN, G. et HASCOET, M.C. (1987) : Determination of the biodegradable fraction of dissolved organic matter in waters. Wat.Res. 21(4), 445-450.