

Analyses chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey

Premiers résultats d'une campagne annuelle de mesures

Michel CAMAIL (1), Monique MAHAMANE (2)
Bernard PUCCI (3), Jean-Pierre RIGAUD (2)

RÉSUMÉ

Nous avons déterminé, d'août 1984 à février 1986, les concentrations des silicates, chlorures, nitrites, phosphates, potassium, sodium, calcium, magnésium, ammonium et fer ferrique ainsi que le pH, la conductivité, la turbidité, l'oxygène dissous, l'alcalinité et la D.B.O. dans l'eau du fleuve Niger à hauteur de la ville de Niamey. L'exploitation statistique de ces résultats fait apparaître l'existence de deux périodes stables et d'une période instable au cours de l'année.

MOTS-CLÉS : Qualité – Hydrochimie – Fleuve Niger – Niamey.

ABSTRACT

WATER CHEMICAL ANALYSIS OF THE RIVER NIGER AT NIAMEY. PRELIMINARY RESULTS

We have determined, from August 1984 to February 1986, the concentrations of silicates, chlorides, nitrites, phosphates, potassium, sodium, calcium, magnesium, ammonium and ferric ions as well as the pH, conductivity, turbidity, dissolved oxygen, alkalinity and oxygen biologic demand in the waters of the river Niger at the level of Niamey town. Statistics of these observations bear out the existence of two stable periods of time and another unstable period during the year.

KEY WORDS : Quality – Hydrochemistry – Niger River – Niamey.

Cet article rend compte des premières connaissances détaillées sur la qualité des eaux du fleuve Niger et sur sa variabilité saisonnière. L'acuité des problèmes de l'eau dans le Sahel et en particulier sur le Niger donne à ces informations un intérêt certain et un grand caractère d'actualité.

1. INTRODUCTION

Le fleuve Niger est l'élément vital de toute la partie est et sud-est de la République du Niger. De nombreuses études ont permis de déterminer ses possibilités et son influence comme voie navigable, comme alimentation de barrages, comme réserve de nourriture, etc. (GALLAIRE *et al.*, 1982 ; GALLAIRE, 1984 ; BENETT, 1967 ; DURAND, 1977).

L'industrialisation naissante dans le bassin de la ville de Niamey et la dépendance de l'agglomération vis-à-vis du fleuve Niger quant à son alimentation en eau ont poussé l'autorité nigérienne à nous demander d'entreprendre une étude chimique des eaux du fleuve dans le but :

(1) Laboratoire de Chimie Appliquée. Université de Toulon, 83130 La Garde.

(2) Département de Chimie. Université de Niamey. BP 10662 Niamey (R. du Niger).

(3) Laboratoire de Chimie Appliquée. École Nationale Supérieure de Chimie, 8, rue de l'École Normale, 34075 Montpellier Cedex.

(a) de déterminer l'état actuel de sa pollution, notamment celle provoquée par les rejets agricoles aussi bien qu'industriels et domestiques au niveau de la ville ;

(b) de connaître la capacité de dépollution de ce fleuve vis-à-vis de composés chimiques pouvant être déversés, accidentellement ou non, en un point de son cours ;

(c) de mettre éventuellement en évidence la présence de « régimes physico-chimiques » analogues aux régimes hydrographiques de manière à affiner le point (b) pour des périodes données.

Cette étude a alors été réalisée dans le cadre des accords de coopération entre la France et le Niger et plus particulièrement entre l'Université de Niamey et celle de Toulon.

La réponse aux questions posées nécessite l'analyse chimique de l'eau du fleuve pendant une période longue pour en tirer des conclusions suffisamment générales. C'est pourquoi après une période initiale d'essais, nos mesures ont été faites à intervalles réguliers pendant 18 mois.

Nous avons déterminé pendant l'étude préliminaire la nature des espèces chimiques les plus abondantes ; cela a conduit à la liste des dix ions dont la concentration a été suivie ; à ces ions nous avons ajouté six paramètres chimiques (pH, alcalinité totale, oxygène dissous, demande biologique en oxygène, conductivité et turbidité) et six paramètres physiques (température de l'air, température de l'eau, débit du fleuve, degré hygrométrique, évapo-transpiration et ensoleillement). Nous avons donc au total 22 paramètres mesurés à 28 dates différentes en trois points de prélèvement.

2. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Pour des raisons de commodité, les dates des prélèvements sont repérées par un numéro. La correspondance entre date et numéro est donnée dans le tableau I.

Le glossaire des abréviations utilisées par la suite pour désigner les paramètres dans les tableaux, l'annexe et les figures est fourni en 2.1.

TABLEAU I
Abréviations utilisées dans les tableaux, l'annexe et les figures pour les dates des prélèvements

DATES DES PRÉLÈVEMENTS (entre parenthèses : deux chiffres pour l'année puis deux chiffres pour la semaine)						
1 22 Aout 84 (8434)	2 12 Sept 84 (8437)	3 9 Octo 84 (8441)	4 1 Nov 84 (8444)	5 29 Nov 84 (8448)	6 29 Dec 84 (8452)	7 9 Janv 85 (8502)
8 31 Janv 85 (8505)	9 14 Févr 85 (8507)	10 6 Mars 85 (8510)	11 20 Mars 85 (8512)	12 11 Avri 85 (8515)	13 30 Avri 85 (8518)	14 16 Mai 85 (8520)
15 30 Mai 85 (8522)	16 15 Juin 85 (8524)	17 25 Juin 85 (8526)	18 15 Juil 85 (8529)	19 13 Aout 85 (8533)	20 5 Sept 85 (8536)	21 25 Sept 85 (8539)
22 10 Octo 85 (8541)	23 20 Octo 85 (8542)	24 1 Nov 85 (8544)	25 20 Nov 85 (8547)	26 20 Dec 85 (8551)	27 5 Janv 86 (8601)	28 17 Févr 86 (8608)

2.1. GRANDEURS MESURÉES ET MÉTHODES D'ANALYSE.

L'annexe regroupe l'ensemble des résultats expérimentaux. Les méthodes d'analyse utilisées sont classiques (RODIER, 1978) et n'appellent aucun commentaire. Dans cette annexe sont portés en colonnes :

- a) *Tair* : Température de l'air (°C) (*).
- b) *déb.* : le débit du fleuve en m³.S⁻¹ (*).
- c) *évap* : le taux d'évapo-transpiration (*) mesuré par la méthode de Piche.
- d) *hygr* : le degré hygrométrique de l'air (*).
- e) *ens* : l'ensoleillement (en dixièmes d'heures) (*).
- f) *Teau* : la température de l'eau (°C) mesurée à l'aide d'un ensemble analytique portatif de même que les quatre grandeurs suivantes.

(*) Ces observations sont faites par la station météorologique du projet Agrhymet qui nous les a aimablement communiquées.

- g) *pH* : le pH ; voir (f).
 h) *cond* : la conductivité en mSiemens.cm⁻¹, valeur donnée à la température réelle de mesure, sans correction ; voir (f).
 i) *turb* : la turbidité (mg.l⁻¹) ; voir (f).
 j) *o2* : l'oxygène dissous (mg.l⁻¹), voir (f).
 k) *alc* : l'alcalinité totale en milli-équivalent par litre. Dosage suivant la norme AFNOR T 90.036.
 l) *dbo* : demande biologique en oxygène (mg.l⁻¹). Mesurée à l'aide de l'analyseur Aqualytic DBO 5 (Bioblock).
 m) *sio2* : la concentration en silicates (mg.l⁻¹), méthode colorimétrique au molybdate de sodium réduit par l'acide amino-1 naphtol-2 sulfonique-4.
 n) *cl-* : la concentration en chlorures (mg.l⁻¹), méthode au thiocyanate mercurique et perchlorate ferrique.
 o) *no2-* : la concentration en nitrites (mg.l⁻¹), méthode colorimétrique par le réactif de Griess.
 p) *po4* : la concentration en phosphates (mg.l⁻¹), méthode colorimétrique au vanadate et molybdate d'ammonium.
 q) *k+* : la concentration en potassium (mg.l⁻¹) mesurée directement sur le prélèvement filtré, par absorption atomique en mode émission.
 r) *na+* : la concentration en sodium (mg.l⁻¹) déterminée à partir du prélèvement filtré, par absorption atomique en mode absorption à l'aide d'une lampe à cathode creuse spécifique. De même pour le calcium et le magnésium.
 s) *ca++* : la concentration en calcium (mg.l⁻¹) ; voir (r).
 t) *mg++* : la concentration en magnésium (mg.l⁻¹) ; voir (r).
 u) *nh4+* : la concentration en ammonium (mg.l⁻¹) ; méthode colorimétrique au phénate et à l'hypochlorite.
 v) *fe3+* : la concentration en fer ferrique (mg.l⁻¹) ; voir (q). Un contrôle est effectué par la méthode colorimétrique à l'ortho-phénanthroline.

2.2. VARIATIONS LOCALES DES PARAMÈTRES

Les lignes de l'annexe (résultats expérimentaux) sont groupées par trois, repérées par les lettres A, B et C, correspondant aux trois points de prélèvement distribués dans cet ordre de l'amont vers l'aval (voir figure 1) :

- A) en amont de la ville de Niamey, au niveau du quartier de Yantala ;
- B) en aval du pont, à 1 500 mètres ;
- C) en aval de la ville, au niveau de la zone industrielle de la route de Kolo.

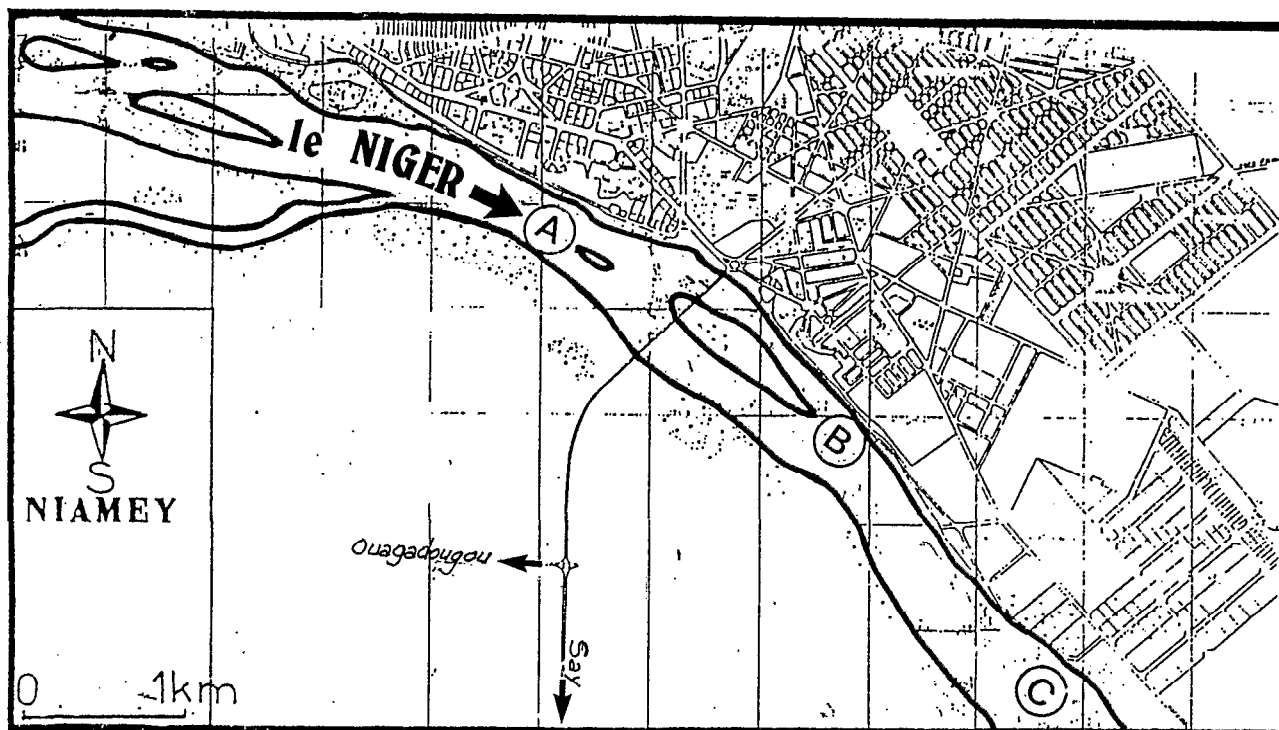


FIG. 1. – Cartes des points de prélèvements

Les cinq premiers paramètres (colonnes a à e) ne sont mesurés qu'en un seul point situé entre A et B. Une seule valeur figure dans les trois lignes.

Sauf bien sûr pour ces cinq paramètres, la question posée au départ de cette analyse est la suivante : « Les prélèvements étant effectués en trois endroits du parcours du fleuve à travers la ville, les paramètres mesurés varient-ils de façon significative entre chacun de ces trois points ? » En d'autres termes, pour préciser la question : « Chacun des paramètres mesurés est-il un bon critère discriminant des lieux de prélèvement ? »

Nous répondons à cette question en appliquant la méthode de corrélation de rang de Kendall. Pour un paramètre, cette méthode consiste à affecter à chacun des points A, B et C le rang 1, 2 ou 3 suivant la valeur de ce paramètre. Dans ce mémoire, le rang 1 est affecté au point où la valeur mesurée est la plus grande. Puis, ce classement étant fait pour tous les jours de prélèvement, la moyenne des rangs peut être faite. Le calcul de corrélation aboutit à la détermination :

– d'un coefficient dont la valeur est comprise entre 0 (aucune constance dans le classement) et 1 (le même point a toujours le même classement) ;

– d'un Khi-deux dont la valeur est comprise entre 0 et 2 fois le nombre des prélèvements. On appelle « hypothèse nulle H_0 » l'hypothèse suivant laquelle le paramètre étudié n'est pas un critère de discrimination des emplacements A, B et C. La valeur 0 correspond à la certitude de réalisation de l'hypothèse nulle ; la valeur 56 serait obtenue si le même classement des points A, B et C était obtenu pour un paramètre tous les jours de prélèvement.

Ces résultats sont portés dans le tableau II. Nous les commenterons dans le paragraphe suivant.

TABLEAU II

Corrélations de rang. Les trois premières lignes contiennent les moyennes des rangs obtenus par les points de prélèvement A, B et C pour chacune des grandeurs mesurées. Les deux dernières lignes sont le coefficient de corrélation de rang de Kendall et le Khicarré associé

	Tair	deb.	evap	hygr	ens	Teau	pH	cond	turb	o2	alc	dbo	SiO2	Cl-	NO2-	PO4	K+	Na+	Ca++	Mg++	NH4+	Fe3+
A	2.	2.	2.	2.	2.	1.92	1.87	2.12	1.74	1.58	2.30	2.12	1.94	1.99	2.16	1.73	2.17	2.39	2.12	2.01	2.05	1.87
B	2.	2.	2.	2.	2.	2.08	2.16	2.01	2.17	2.19	1.99	1.89	2.16	1.85	1.78	2.03	1.99	1.89	2.01	1.96	1.73	1.94
C	2.	2.	2.	2.	2.	1.98	1.96	1.85	2.07	2.21	1.69	1.98	1.89	2.14	2.05	2.23	1.82	1.71	1.85	2.01	2.21	2.17
coeff	0	0	0	0	0	.006	.021	.018	.049	.126	.092	.013	.020	.020	.037	.063	.031	.123	.018	.000	.060	.025
Khi2	0	0	0	0	0	.374	1.19	1.01	2.78	7.08	5.16	.767	1.12	1.14	2.08	3.55	1.78	6.92	1.01	.053	3.37	1.41

2.3. VARIATIONS ANNUELLES DES PARAMÈTRES

L'examen de l'annexe (résultats expérimentaux) montre que, pour tous les paramètres, les différences entre les trois points de prélèvement sont tout à fait minimales devant les fluctuations annuelles. Aussi pour chacun des jours de prélèvement nous ne retiendrons qu'une seule valeur de chaque paramètre ; cette valeur étant la moyenne entre les trois valeurs mesurées le même jour.

Nous nous sommes assurés que cette façon de faire ne modifie que très peu les coefficients de corrélation calculés par la suite.

Les coefficients de corrélation entre chacun des couples de paramètres sont portés dans le tableau III.

Il est bien connu que l'expression d'un phénomène aussi complexe qu'une corrélation par un seul nombre peut amener à une interprétation simpliste. Par exemple, si nous nous donnons une vingtaine de solutions de pH régulièrement espacés entre 6 et 8 la corrélation entre la concentration des ions hydroxyles dans ces solutions et leur pH s'exprime par un coefficient de 0,875 ! Autre exemple : si un phénomène en induit un autre de manière certaine, mais avec un décalage de trois mois (phénomènes en quadrature de phase) leur coefficient de corrélation vaut 0 !

Pour pallier ces différents inconvénients, nous avons tracé dans la figure 2, les courbes de variation des différents paramètres en fonction du temps ; sur chacune de ces courbes, nous avons porté en pointillés la variation du débit. L'observation de ces courbes permet d'avoir sur les phénomènes un avis beaucoup plus nuancé que ne l'est la valeur comprise entre plus et moins 1 du coefficient de corrélation.

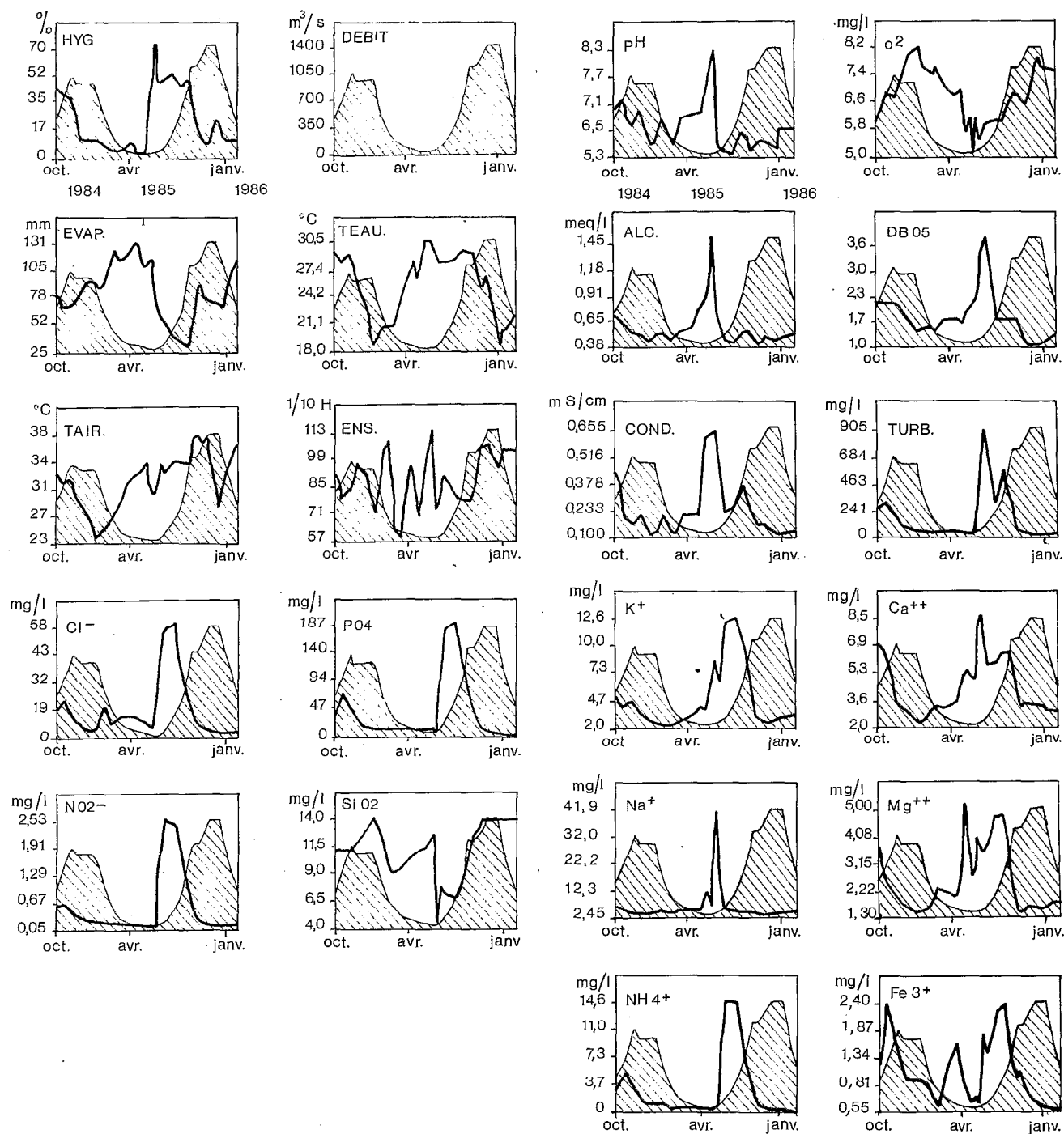


FIG. 2. - Variation des paramètres en fonction du temps

TABLEAU III
Coefficients de corrélations entre paramètres

	Tair	deb	evap	hygr	ens	Teau	pH	cond	turb	o2	alc	dbo	isio2	icl	ino2-lpo4	k+	na+	ca++	mg++	nh4+	fe3+
Tair	.174	-.255	.151	.178	.574	-.164	.091	.201	-.489	-.098	.072	.080	.119	.217	.211	.221	-.101	.289	.207	.206	.235
deb	.174	-.424	-.159	.249	-.312	-.493	-.568	-.192	.456	-.529	.483	.647	-.403	-.223	-.219	-.370	-.466	-.437	-.570	-.220	-.050
evap	-.255	-.424	-.636	.086	-.236	.368	.046	-.632	.226	.347	-.244	.185	-.529	-.652	-.643	-.549	.176	-.410	-.303	-.661	-.584
hygr	.151	-.159	-.636	-.180	.568	.235	.487	.601	-.585	.249	.563	-.586	.630	.608	.615	.795	.461	.795	.583	.630	.505
ens	.178	.249	.086	-.180	.037	.093	.050	-.204	-.090	.134	.147	.491	-.271	-.225	-.231	-.174	.003	-.274	-.277	-.246	-.326
Teau	.574	-.312	-.236	.568	.037	.417	.609	.367	-.069	.477	.525	.329	.358	.332	.345	.579	.351	.681	.607	.352	.424
pH	-.164	-.493	.368	.235	.093	.417	.789	-.268	-.407	.828	.123	-.197	-.170	-.344	-.318	.106	.749	.349	.311	-.316	-.216
cond	.091	-.568	.046	.487	.050	.689	.789	.102	-.769	.817	.396	-.360	.177	.066	.058	.450	.739	.673	.679	.068	-.014
turb	.201	-.192	-.632	.601	-.204	.367	-.268	.102	-.478	-.121	.788	-.492	.806	.878	.844	.709	-.058	.599	.589	.872	.636
o2	-.489	.456	.226	-.585	-.090	-.869	-.407	-.749	.478	-.589	-.600	.436	-.506	-.464	-.448	-.667	-.511	-.767	-.737	-.460	-.334
alc	-.098	-.529	.347	.249	.134	.477	.828	.817	-.121	-.589	.243	-.105	-.039	-.182	-.182	.215	.791	.387	.340	-.173	-.172
dbo	.072	-.483	-.244	.563	-.147	.525	.123	.396	.788	-.600	.243	-.558	.673	.653	.633	.586	.278	.622	.472	.654	.388
isio2	.080	.647	.185	-.586	.491	-.329	.197	-.360	-.492	.436	-.105	-.558	-.715	-.580	-.583	-.658	-.409	-.636	-.690	-.588	-.383
icl	.119	-.403	-.529	.630	-.271	.358	-.170	.177	.806	-.506	-.039	.673	.715	.955	.959	.847	.891	.572	.647	.959	.663
ino2	.217	-.223	-.652	.608	-.225	.332	-.344	.066	.878	-.464	-.182	.653	-.580	.955	.991	.825	-.074	.541	.593	.995	.679
po4	.211	-.219	-.643	.615	-.231	.345	-.318	.058	.844	-.448	-.182	.633	-.583	.959	.991	.815	-.087	.536	.585	.997	.716
k+	.221	-.370	-.549	.795	-.174	.579	.106	.450	.709	-.667	.215	.586	-.658	.847	.825	.815	.320	.679	.768	.821	.533
na+	-.101	-.466	.176	.461	-.003	.351	.749	.739	-.058	-.511	.791	.278	-.409	.891	-.074	-.087	.320	.487	.391	-.076	-.209
ca++	.289	-.437	.410	.795	-.274	.681	.349	.673	.599	-.767	.387	.622	-.636	.572	.541	.536	.679	.487	.785	.558	.452
mg++	.207	-.570	-.303	.583	-.277	.607	.311	.679	.509	-.737	.340	.472	-.690	.647	.593	.585	.768	.391	.785	.593	.375
nh4+	.206	-.220	-.661	.630	-.246	.352	-.316	.068	.872	-.460	-.173	.654	-.588	.959	.995	.997	.821	-.076	.558	.593	.722
fe3+	.235	-.050	-.586	.505	-.326	.424	-.216	-.014	.636	-.334	-.172	.338	-.383	.663	.679	.716	.533	-.209	.452	.375	.722
	!Tair!	!deb!	!evap!	!hygr!	!ens!	!Teau!	!pH!	!cond!	!turb!	!o2!	!alc!	!dbo!	!isio2!	!icl!	!ino2-lpo4!	!k+!	!na+!	!ca++!	!mg++!	!nh4+!	!fe3+!

2.4. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

Nous avons utilisé le logiciel « Chaîne d'Analyse des Données à Organisation Cohérente » de C. ARNAUD et coll., 1984 ; dans ce logiciel, les paramètres mesurés sont traités comme des questions auxquelles des individus, les 28 jours de mesure, répondent en fournissant des réponses quantitatives. Ces réponses sont les valeurs mesurées des différentes grandeurs. Les noms de code comportent impérativement quatre caractères ; d'où l'orthographe de certaines questions. Les résultats sont regroupés dans le tableau IV et dans les figures 3 et 4.

3. DISCUSSION DES RÉSULTATS

3.1. VARIATION AVEC LE LIEU DE PRÉLÈVEMENT

L'analyse des résultats obtenus par la méthode de corrélation de rang (tabl. II) est faite en tenant compte de ce que le système possède deux degrés de liberté. Pour prendre la décision de considérer que la variation d'un paramètre entre les trois points de prélèvement est significative avec une probabilité de 95 %, la valeur de Khi-deux doit être au moins égale à 5,99.

Les seuls paramètres qui amènent à cette conclusion sont la mesure de l'oxygène dissous, qui diminue lors de la traversée de la ville, et la concentration en ions sodium qui augmente.

Lors de la traversée de la ville, les paramètres qui augmentent de façon significative (probabilité égale ou supérieure à 75 % que la variation ne soit pas due au hasard) sont : la concentration en ions sodium, l'alcalinité, les concentrations en ions potassium et calcium et la conductivité. Ceux qui diminuent de façon significative sont l'oxygène dissous et la concentration en ions phosphate. Ce sont là des traces de la pollution apportée par la traversée de la ville de Niamey.

Mais il faut remarquer qu'un autre groupe de mesures comprenant les ions ammonium, nitrites et chlorures ainsi que la D.B.O. passe par un maximum au niveau de la ville puis décroît.

Cela indique que si la ville fait bien apparaître une augmentation des valeurs mesurées, certaines de celles-ci décroissent de façon notable entre les derniers points de prélèvement, montrant ainsi un pouvoir certain d'auto-épuration du fleuve.

3.2. VARIATIONS SAISONNIÈRES

L'examen du tableau III des coefficients de corrélation montre l'existence de groupes de paramètres bien corrélés entre eux : (a) chlorures, nitrites, phosphates et potassium ; (b) ammonium, calcium et magnésium ; (c) turbidité et D.B.O. Les groupes (a) et (b) sont bien corrélés de même que (a) et (c) ; la corrélation entre (b) et (c) est un peu plus faible.

D'autre part, les paramètres physiques apparaissent être mal corrélés entre eux d'une part et à l'ensemble des paramètres chimiques de l'autre, sauf le degré hygrométrique qui est assez bien corrélé avec ces paramètres et notamment avec les concentrations des ions, ce qui peut paraître surprenant. En fait, cette corrélation met en relief un phénomène classique.

En effet, s'agissant de phénomènes périodiques, le coefficient de corrélation est avant tout une mesure du déphasage des phénomènes les uns par rapport aux autres. Ainsi, un coefficient de corrélation voisin de l'unité entre deux variables ne signifie pas obligatoirement qu'elles soient liées ; cela montre d'abord qu'elles varient simultanément. A contrario, un coefficient de corrélation nul ou faible peut signifier :

- soit que l'un des deux phénomènes au moins varie de façon désordonnée ;
- soit que les deux phénomènes varient en quadrature de phase.

Ces observations peuvent donc être précisées par l'examen de la figure 2 où sont portées les variations de chacun des paramètres étudiés en fonction du temps. Sur chacun des graphiques la variation du débit est rappelée en pointillés. L'interprétation des comportements s'en trouve simplifiée ; on en démontre quatre types :

3.2.1. Paramètres dont la variation est en phase avec celle du débit

Il s'agit principalement de la concentration en oxygène dissous. Sa valeur suit assez bien le débit sauf en période de décrue où, la température de l'eau étant minimale, la teneur en oxygène dissous augmente. Se trouve aussi dans ce cas la concentration en silicates.

3.2.2. Paramètres dont la variation est complètement déphasée par rapport à celle du débit

Ce sont le pH, l'alcalinité et la concentration en ions sodium ; ces trois valeurs augmentent fortement lorsque le débit est au plus bas puis reprennent des valeurs basses dès que le débit redevient plus important. D'autre part, nous avons vu plus haut que ce sont des paramètres dont les valeurs augmentent significativement à la traversée de la ville. Il s'agit donc typiquement d'indicateurs de pollution.

3.2.3. Paramètres dont le déphasage avec le débit est compris entre deux et quatre mois

Il s'agit de la D.B.O., de la turbidité, et des concentrations en ions chlorures, nitrites, phosphates et potassium ; ces grandeurs sont toutes très fortement corrélées entre elles. Elles sont maximales lorsque le fleuve est en période de crue. C'est-à-dire en saison des pluies lorsque le fleuve reçoit une grande quantité d'eaux de ruissellement et que la montée de son niveau s'accompagne de la remise en solution de sels déposés dans le sédiment.

Cela explique aussi que le seul paramètre physique bien corrélé avec ce groupe de paramètres soit l'hygrométrie : c'est le seul paramètre climatologique qui passe par un maximum en saison des pluies. Il faut tout de même noter dans ce groupe les valeurs anormalement élevées mesurées pour la concentration des ions ammonium à certaines périodes de l'année. D'autant plus qu'elles s'accompagnent d'un déséquilibre significatif de la balance ionique, la somme des concentrations pondérées des anions étant très supérieure à celle des cations.

3.2.4. Paramètres dont la variation n'est pas du tout corrélée au débit

Principalement pour deux types de raisons. La première qui s'applique au cas des ions ferriques, calcium et magnésium dont la concentration augmente aussi bien avec l'arrivée des eaux du ruissellement de la saison des pluies que pour d'autres raisons dont l'effet est maximum en période d'étiage. La deuxième raison s'applique aux paramètres climatologiques dont l'effet sur la composition chimique de l'eau du fleuve n'est pas du tout significatif.

3.2.5. Synthèse et interprétation

L'analyse factorielle des résultats conduit essentiellement à séparer deux domaines d'observations : celui des jours de prélèvement et celui des paramètres mesurés. Remarquons tout d'abord (tabl. IV) que la somme des deux plus grandes valeurs propres est égale à 99,7 % ; c'est dire que la représentation plane (figure n° 4) de la distribution spatiale des individus contient 99,7 % de l'information totale donnée par les mesures. Ainsi nous n'aurons pratiquement aucune erreur de parallaxe lors de sa lecture (FENELON, 1981 ; SANDERS *et al.*, 1984).

TABLEAU IV
Analyse factorielle. Les réponses des individus (prélèvements) aux questions (paramètres) sont les valeurs prises par ces paramètres

Individu	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Valeurs propres			
8434	-200,4	69,1	13,3	Lambda 1	262483,9	% trace	84,8
8437	162,0	153,1	-11,6	Lambda 2	46213,0	% trace	14,9
8441	457,9	79,0	0,8	Lambda 3	796,7	% trace	0,3
8444	354,2	-40,3	2,4	Réponses			
8448	405,7	-66,3	5,3		Axe 1	Axe 2	Axe 3
8452	372,8	-69,7	4,1				
8502	-55,4	-123,1	-2,5	Tair	0,164	0,250	-0,080
8505	-298,0	-153,9	7,2	Deb.	0,999	0,041	0,000
8507	-408,6	-171,0	10,3	Evap	-0,393	-0,756	0,349
8510	-491,0	-159,2	8,2	Hygr	-0,184	0,585	-0,339
8512	-521,2	-163,7	12,6	Enso	0,256	-0,153	0,134
8515	-558,4	-181,6	13,6	Teau	-0,327	0,305	-0,115
8518	-562,2	-190,7	5,0	pH	-0,486	-0,390	0,100
8520	-572,3	-175,1	3,2	Cond	-0,568	-0,029	-0,022
8522	-576,6	-167,3	6,4	Turb	-0,232	0,972	0,029
8524	-578,7	-160,0	-15,9	O2di	0,473	-0,382	0,102
8526	-638,6	441,4	18,7	Alca	-0,520	-0,252	0,124
8529	-559,6	717,5	20,9	DBO	-0,513	0,685	0,121
8533	-299,7	118,7	-140,5	Sili	0,663	-0,358	0,319
8536	-42,4	418,7	14,6	Clor	-0,434	0,740	-0,476
8539	540,5	207,5	-0,2	Nitr	-0,259	0,854	-0,421
8541	535,9	-14,3	-4,4	Phos	-0,254	0,821	-0,492
8542	623,7	-46,4	6,0	Pota	-0,398	0,646	-0,438
8544	705,0	-41,5	4,4	Sodi	-0,460	-0,170	-0,014
8547	883,7	-28,5	4,6	Calc	-0,458	0,511	-0,137
8551	870,8	-38,8	-0,9	Magn	-0,587	0,392	-0,316
8601	632,5	-65,1	0,4	Amno	-0,256	0,850	-0,446
8608	-181,4	-148,6	14,3	Fer	-0,077	0,645	-0,346

L'examen de la figure 3 permet de retrouver les corrélations mises en évidence plus haut entre paramètres. On observe bien ici la même division en quatre groupes de comportements, particulièrement de comportement vis-à-vis du débit de l'eau (axe principal 1) et de sa variation (axe principal 2) ; certains paramètres ont une inertie importante sur l'axe principal 3, surtout les espèces ioniques dont la composante sur cet axe est négative.

Nous serons très prudents quant à l'interprétation physique de ces corrélations : il va de soi qu'à ce stade de nos observations, la mise en évidence d'une corrélation entre des grandeurs ne signifie nullement que les phénomènes qui les gouvernent soient identiques ou même liés.

En ce qui concerne la mise en évidence d'un régime périodique de l'état physico-chimique du fleuve, la figure 4 en donne une représentation saisissante. Le plan est parcouru d'une manière parfaitement cyclique et discontinue :

- octobre, novembre, décembre et janvier sont les mois pendant lesquels le débit est largement supérieur à la moyenne. Leurs points représentatifs sont regroupés autour du point de coordonnées (+ 600, 0) ;
- février, mars, avril, mai et juin, mois pendant lesquels le débit décroît puis reste minimum, ont leurs points représentatifs groupés autour du point (- 300, - 150) ;
- juillet, août et septembre sont représentés autour du point (0, + 100). Les points 8526 et 8529 rentrent parfaitement dans ce schéma avec une distance par rapport au point origine trois fois plus grande que ce qu'elle

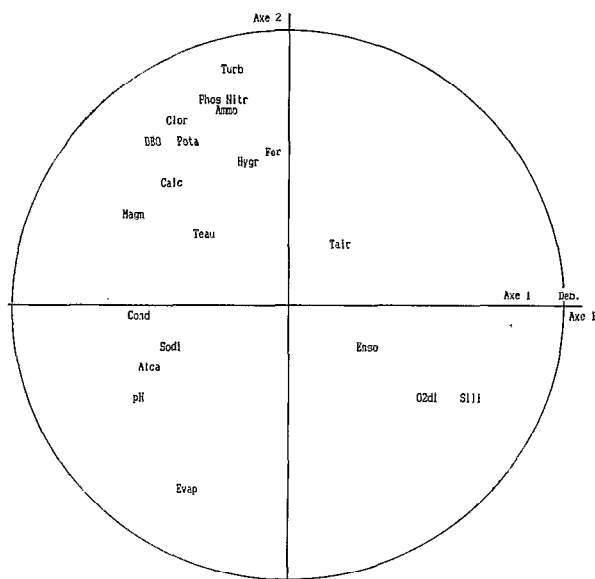


FIG. 3. — Représentation plane des corrélations entre paramètres dans le plan des axes principaux 1 et 2

aurait été en temps ordinaire : en 1985, le Niger s'est arrêté de couler au mois de juin (BILLON, 1986) ce qui explique la présence de ces deux points hors norme.

4. CONCLUSION

Les analyses chimiques menées pendant cette longue période montrent que la minéralisation de l'eau du fleuve est relativement faible. D'autre part, la Demande Biologique en Oxygène (DBO) est elle aussi assez faible montrant un bas niveau de pollution organique et dans laquelle l'incidence de la ville est assez modérée.

Cette étude nous a permis d'établir l'existence de corrélations intéressantes entre les paramètres mesurés. L'interprétation de ces corrélations ne rentre pas dans les objectifs assignés au départ à cette étude, mais elle sera faite en conjonction avec des observations pédologiques des environs de Niamey.

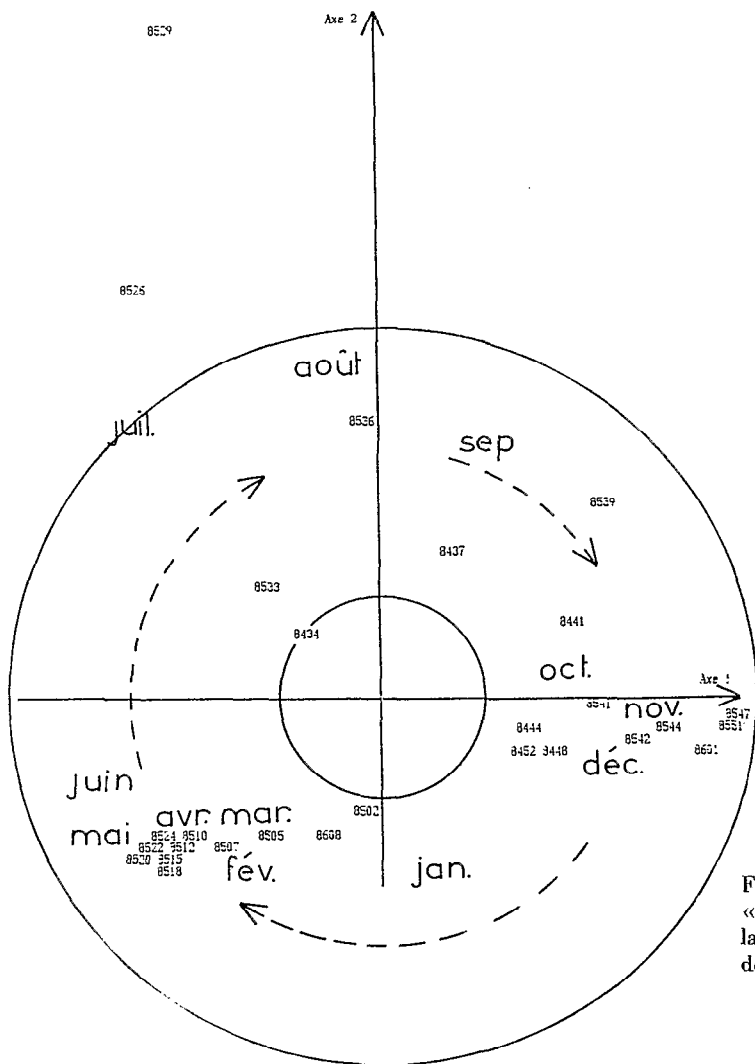
Nous avons mis en évidence la présence de deux états physico-chimiques stables du fleuve au cours de l'année et d'un état instable.

Le premier état stable se situe aux mois d'octobre, novembre, décembre et janvier, c'est-à-dire pendant les mois de hautes eaux. Les concentrations des espèces chimiques analysées décroissent régulièrement.

Le deuxième état caractéristique correspond aux mois de février, mars, avril, mai et juin jusqu'aux premières pluies notables, c'est-à-dire jusqu'à l'arrivée au fleuve des premières eaux de ruissellement. Toutes les concentrations ont leurs plus faibles valeurs.

Et enfin, le troisième état est instable. Il correspond à la période qui couvre la fin juin, juillet, août et septembre, c'est-à-dire la saison des pluies. La majorité des paramètres mesurés croît brusquement puis décroît presque aussi brusquement. Il s'agit en cette période de l'année d'un régime très différencié des autres.

Ces observations nous permettront de localiser dans les créneaux que nous venons de mettre en évidence les études ultérieures sur la vitesse d'auto-épuration du fleuve Niger au cours de l'année. D'autre part, l'ensemble des mesures que nous avons effectuées est le premier à avoir été réalisé, il pourra servir par la suite de point de référence.



REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement Monsieur Robert GATHÉLIER, hydrologue à l'ORSTOM qui les a aidés de ses conseils lors de la réalisation de ce travail.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 18 septembre 1987.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 1977. - Norme n° 90036 - Juillet.
- ARNAUD (C.), AUBERT (G.), BIONDI (J.), LAFAYE de MICHEAUD (D.), LEMAIRE (J.), 1984. - Chaîne d'analyse des données à organisation cohérente, Nice.
- BENETT (J.A.), 1967. - A survey of river water quality in Northern Nigeria - Rapport interne de l'Institute for Agricultural Research - Samaru Ahmadu Bello University, Nigeria.
- BILLON (B.), 1986. - Le Niger à Niamey - Décrue et Étiage 1985 - *Cah. ORSTOM Sér. Hydrol.*, Vol. XXI, n° 4, 1984-85 : 3-22.
- CHARLOT (G.), 1974. - Chimie analytique quantitative II. Masson Éd.
- DURAND (J.H.), 1977. - Les Cahiers d'Outre-Mer - Oct. Déc. - Bordeaux.
- FENELON (J.P.), 1981. - Qu'est-ce que l'analyse des données ? Lefonem, Paris.
- GALLAIRE (R.), 1967. - Le delta intérieur du Niger - Vol. II, IFAN, Dakar.
- GALLAIRE (R.), 1984. - Le Niger à Kandadji - Synthèse des Études - ORSTOM, Travaux Publics, SOFRELEC, Niamey.
- GALLAIRE (R.), HARANG (Ph.), CATHELIER (R.), 1982. - Le Niger à Kandadji - Étude Hydrologique 1980 - ORSTOM, Travaux Publics, Niamey.
- RODIER (J.), 1978. - L'analyse de l'Eau. Bordas Éd.
- SANDERS (D.H.), MURPH (A.F.), ENG (R.J.), 1984. - Les statistiques, une approche nouvelle - McGraw. Hill, éd.
- THOMAS (J.F.J.), LINC (J.J.), 1960. - J.A.W.W.A., 52, 259.

ANNEXE I

Résultats expérimentaux, jours 1 à 8. Les explications concernant les titres des lignes (jours et lieux de prélèvements) et des colonnes (paramètres mesurés) sont regroupés dans le tableau I

	Tair	deb.	levap	hygr	lens	Teau	pH	cond	turb	o2	alc	db	iso2	lci-	lno2	lpo4	l k+	l na+	l ca++	l mg++	l nh4+	l fe3+
A	32.2	399.	82.1	42.7	93.0	29.9	6.80	.400	250.	6.00	.650	14.0	10.0	10.4	.400	35.6	5.45	5.00	6.80	3.50	3.00	1.20
B	32.2	399.	82.1	42.7	93.0	30.0	6.70	.500	217.	6.00	.550	14.0	10.0	10.0	.560	34.4	5.60	5.00	6.80	3.65	3.60	1.40
C	32.2	399.	82.1	42.7	93.0	30.0	7.30	.500	250.	5.90	.800	14.0	10.0	11.5	.400	34.4	3.25	5.45	7.00	3.60	3.00	1.20
A	31.1	768.	66.7	41.3	76.0	28.2	7.10	.200	280.	7.00	.600	14.0	10.0	18.8	.600	72.0	3.75	3.55	6.10	2.23	6.00	2.75
B	31.1	768.	66.7	41.3	76.0	28.2	7.00	.200	280.	6.70	.550	13.0	10.0	19.5	.500	72.0	3.75	3.67	6.50	2.21	6.00	2.25
C	31.1	768.	66.7	41.3	76.0	28.4	7.30	.200	280.	7.00	.620	14.0	10.0	15.2	.600	58.0	3.75	3.55	5.90	2.23	5.00	2.88
A	31.3	1055	69.7	38.8	80.0	29.7	6.70	.150	190.	6.90	.480	13.0	10.0	9.00	.369	34.0	4.77	2.50	3.60	1.84	3.20	1.90
B	31.3	1055	69.7	38.8	80.0	29.7	7.00	.100	180.	6.70	.570	15.0	10.0	10.8	.400	33.2	4.31	2.50	3.12	1.83	3.20	1.60
C	31.3	1055	69.7	38.8	80.0	28.0	6.00	.200	175.	6.40	.440	13.0	10.0	9.00	.400	32.0	4.31	2.75	3.12	1.83	3.20	1.60
A	28.6	940.	79.8	14.7	94.0	25.9	6.90	.200	78.0	7.50	.430	13.0	11.5	5.20	.200	15.6	3.00	2.45	3.00	1.50	1.60	1.08
B	28.6	940.	79.8	14.7	94.0	25.5	7.00	.200	75.0	7.20	.510	13.0	11.5	4.80	.160	16.4	3.00	2.45	3.00	1.50	1.60	1.08
C	28.6	940.	79.8	14.7	94.0	25.8	6.80	.200	77.0	7.20	.490	13.0	11.5	4.40	.160	15.6	3.00	2.45	3.00	1.50	1.60	1.08
A	26.6	989.	93.9	12.6	86.0	23.0	6.40	.100	47.0	8.20	.380	9.00	12.8	3.20	.140	11.2	2.35	3.00	2.25	1.30	1.00	1.20
B	26.6	989.	93.9	12.6	86.0	23.0	6.30	.100	46.0	7.90	.490	9.00	12.8	3.20	.120	11.2	2.35	3.00	2.25	1.30	1.20	1.08
C	26.6	989.	93.9	12.6	86.0	23.0	5.90	.100	49.0	8.20	.390	9.00	12.8	3.20	.120	11.2	2.35	3.00	2.60	1.30	1.20	1.08
A	23.5	956.	91.4	13.1	67.0	18.0	5.90	.100	41.0	8.30	.450	7.00	13.8	2.40	.100	10.0	2.00	3.00	2.00	1.40	1.20	1.08
B	23.5	956.	91.4	13.1	67.0	18.1	5.70	.100	43.0	8.50	.420	7.00	13.8	2.80	.100	10.0	2.00	3.00	2.00	1.40	1.04	1.08
C	23.5	956.	91.4	13.1	67.0	19.4	7.20	.100	57.0	8.00	.620	7.00	13.8	3.20	.140	10.0	2.00	4.00	2.00	1.40	1.04	1.08
A	25.0	524.	85.2	14.1	95.0	20.9	6.40	.100	30.0	7.80	.440	8.00	12.0	9.00	.100	8.00	2.00	3.12	2.20	1.42	1.00	1.04
B	25.0	524.	85.2	14.1	95.0	21.0	6.40	.100	30.0	7.90	.440	8.00	12.0	8.00	.080	8.00	2.00	3.12	2.20	1.42	1.00	1.04
C	25.0	524.	85.2	14.1	95.0	20.9	7.40	.400	45.0	7.40	.600	7.00	12.0	28.0	.100	10.0	2.35	2.84	2.51	1.45	1.20	1.04
A	26.0	280.	106.	10.2	104.	21.3	6.25	.100	31.0	7.40	.380	8.00	6.90	6.00	.058	8.00	2.00	3.07	3.00	1.80	.750	.700
B	26.0	280.	106.	10.2	104.	21.3	6.00	.100	31.0	7.40	.440	8.00	7.60	6.10	.064	7.20	2.00	3.07	2.83	1.72	.700	.700
C	26.0	280.	106.	10.2	104.	21.3	6.95	.100	31.0	7.50	.400	8.00	8.49	6.00	.063	7.20	2.00	3.07	3.16	1.75	.700	.700
	Tair	deb.	levap	hygr	lens	Teau	pH	cond	turb	o2	alc	db	iso2	lci-	lno2	lpo4	l k+	l na+	l ca++	l mg++	l nh4+	l fe3+

ANNEXE III

Résultats expérimentaux, jours 17 à 24

	[Tairdeb,levaphygrlens lTeaul pñ iconditurbñ o2 laic ldbo lsoi2lcl- lno2-lp04 l k+ lna+ lca+ lmg+ lnh+ lfe3+																								
A	33.5	0	57.7	46.0	75.0	28.2	6.30	.350	690.	5.80	.570	25.0	6.50	36.0	2.19	120.	6.64	8.75	8.80	3.12	11.0	2.20			
17 B	33.5	0	57.7	46.0	75.0	27.9	6.20	.350	683.	5.60	.580	25.0	4.00	36.0	1.70	120.	5.28	15.0	8.00	3.17	11.0	2.00			
C	38.5	0	57.7	46.0	75.0	28.4	6.20	.500	560.	4.79	.740	25.0	7.00	33.0	1.40	100.	6.64	20.0	8.80	3.56	9.20	2.00			
A	32.0	106.	53.0	47.0	87.0	28.3	6.10	.200	950.	6.30	.400	30.0	5.00	46.0	2.40	160.	11.9	3.70	5.50	3.60	14.0	1.60			
18 B	32.0	106.	53.0	47.0	87.0	28.7	6.00	.200	945.	5.90	.410	30.0	5.00	68.0	3.20	240.	12.6	3.70	5.50	3.60	19.0	1.60			
C	32.0	106.	53.0	47.0	87.0	28.8	6.10	.200	820.	5.50	.430	30.0	5.20	38.0	2.00	120.	11.9	3.90	5.70	3.60	12.0	1.50			
A	34.0	305.	38.0	52.0	76.0	28.6	6.00	.250	280.	6.15	.370	10.0	4.00	55.0	2.50	200.	12.6	3.70	5.30	4.60	15.0	1.60			
19 B	34.0	305.	38.0	52.0	76.0	28.5	6.00	.250	240.	5.90	.400	10.0	3.80	50.0	2.40	180.	12.6	3.70	5.80	4.50	16.0	3.00			
C	34.0	305.	38.0	52.0	76.0	29.0	6.10	.250	270.	6.00	.390	10.0	4.00	54.0	2.40	180.	12.6	3.90	6.00	4.60	14.4	3.00			
A	34.0	590.	28.0	44.0	76.0	29.9	6.70	.400	530.	6.10	.510	10.0	7.00	27.0	1.30	89.0	10.5	3.30	6.30	4.60	8.00	2.60			
20 B	34.0	590.	28.0	44.0	76.0	29.7	6.45	.350	570.	5.90	.490	10.0	7.00	28.0	1.40	89.0	10.5	3.30	6.50	4.55	8.50	2.80			
C	34.0	590.	28.0	44.0	76.0	29.7	6.45	.350	590.	5.90	.510	10.0	7.00	28.0	1.40	90.0	10.5	3.30	6.30	4.55	8.50	2.60			
A	33.3	1149	30.0	49.0	74.0	29.2	6.40	.250	300.	6.30	.480	10.0	12.5	11.0	.700	47.0	6.94	3.33	6.66	2.57	4.50	1.80			
21 B	33.3	1149	30.0	49.0	74.0	29.2	6.30	.250	291.	6.40	.530	10.0	12.0	10.0	.750	43.0	6.94	3.70	6.00	2.57	4.50	1.70			
C	33.3	1149	30.0	49.0	74.0	29.7	6.50	.250	302.	6.50	.520	10.0	12.0	10.0	.700	45.0	6.94	3.33	6.07	2.57	5.00	1.40			
A	37.6	1123	64.0	26.0	83.0	30.0	6.10	.200	85.0	7.00	.440	10.0	12.5	7.00	.160	16.0	3.65	3.00	3.99	1.45	1.45	1.32			
22 B	37.6	1123	64.0	26.0	83.0	29.8	6.20	.200	82.0	6.90	.450	10.0	12.5	6.80	.160	16.0	3.29	3.00	3.83	1.53	1.40	1.08			
C	37.6	1123	64.0	26.0	83.0	29.7	5.80	.200	81.0	6.80	.440	10.0	12.5	6.80	.160	14.0	3.65	2.80	3.83	1.53	1.40	1.00			
A	37.3	1208	93.0	18.0	97.0	27.0	6.40	.150	47.0	6.90	.400	10.0	13.5	3.25	.120	10.0	2.55	2.64	3.00	1.30	.950	1.40			
23 B	37.3	1208	93.0	18.0	97.0	26.8	6.40	.150	43.0	6.80	.380	10.0	13.5	3.25	.100	10.0	2.55	2.64	3.08	1.40	.900	1.10			
C	37.3	1208	93.0	18.0	97.0	26.8	6.00	.150	47.0	6.90	.370	10.0	13.5	3.00	.150	10.0	2.66	2.83	3.28	1.30	.800	1.40			
A	36.5	1289	82.0	13.0	102.	25.7	6.50	.150	46.0	6.70	.350	6.00	13.7	2.50	.090	8.20	2.55	2.80	3.40	1.52	.700	.850			
24 B	36.5	1289	82.0	13.0	102.	25.5	6.45	.150	41.0	6.60	.410	6.00	14.0	2.50	.095	9.00	2.55	2.80	3.17	1.52	.700	1.25			
C	36.5	1289	82.0	13.0	102.	25.3	6.00	.150	39.0	6.65	.400	6.00	14.0	2.50	.090	8.50	2.55	2.80	3.17	1.54	.650	.850			
	[Tairdeb,levaphygrlens lTeaul pñ iconditurbñ o2 laic ldbo lsoi2lcl- lno2-lp04 l k+ lna+ lca+ lmg+ lnh+ lfe3+																								

ANNEXE IV

Résultats expérimentaux, jours 25 à 28

	[Tair]deb,		[evaphygr]rens		[Teau] pH		[icndit]urbi		o2		[alc] dibo		[iso2]cl-		-ino2		-ipo4		[k+]		[nat]		[cat+][mg+][nh4+][fe3+]	
A	37.3	1468	76.0	11.0	103.	26.8	6.40	.150	43.0	6.50	.500	4.00	14.0	1.70	.060	6.00	2.28	2.72	3.12	1.56	.650	.800		
25	B	37.3	1468	76.0	11.0	103.	26.8	6.50	.150	37.0	6.40	.459	4.00	14.0	1.80	.070	6.20	2.28	2.78	3.12	1.60	.700	.850	
C	37.3	1468	76.0	11.0	103.	26.7	6.00	.150	32.0	6.45	.459	4.00	14.0	1.70	.060	6.20	2.28	2.00	3.12	1.60	.650	.800		
A	27.6	1454	71.0	24.0	90.0	18.9	6.50	.100	29.0	7.90	.440	4.00	14.0	1.40	.060	4.29	2.40	3.29	3.04	1.49	.500	.550		
26	B	27.6	1454	71.0	24.0	90.0	18.7	6.00	.100	28.0	7.90	.410	4.00	14.0	1.30	.060	4.10	2.60	3.29	3.04	1.47	.600	.600	
C	27.6	1454	71.0	24.0	90.0	18.7	6.00	.100	25.0	8.00	.420	4.00	14.0	1.20	.080	4.10	2.60	3.53	3.04	1.49	.550	.550		
A	30.8	1214	69.0	13.0	101.	20.8	6.60	.100	28.0	7.70	.440	4.00	14.0	1.25	.045	3.50	2.60	3.53	2.92	1.51	.500	.650		
27	B	30.8	1214	69.0	13.0	101.	20.5	6.60	.100	23.0	7.65	.430	4.00	14.0	1.25	.045	3.00	2.60	3.53	2.92	1.51	.400	.480	
C	30.8	1214	69.0	13.0	101.	20.5	6.55	.100	24.0	7.65	.440	4.00	14.0	1.25	.045	4.00	2.60	3.53	2.84	1.49	.500	.600		
A	36.0	397.	120.	13.0	100.	23.0	6.60	.100	28.0	7.50	.440	6.00	14.0	1.75	.045	4.50	2.80	3.99	2.78	1.67	.480	.550		
28	B	36.0	397.	120.	13.0	100.	22.9	6.60	.150	27.0	7.50	.450	6.00	14.0	1.70	.050	4.50	3.00	4.12	2.99	1.72	.480	.550	
C	36.0	397.	120.	13.0	100.	23.0	6.40	.100	25.0	7.50	.500	6.00	14.0	1.70	.050	4.50	3.00	4.12	2.71	1.67	.500	.550		
[Tair]deb,[evaphygr]rens [Teau] pH [icndit]urbi o2 [alc] dibo [iso2]cl- -ino2-ipo4 [k+] [nat] [cat+][mg+][nh4+][fe3+]																								