

## ECOULEMENT ET TRANSPORT DE MATIERES DANS LE BASSIN VERSANT DU N'ZI, AFFLUENT DE RIVE GAUCHE DU FLEUVE BANDAMA (CÔTE D'IVOIRE)

**Natchia AKA<sup>1\*</sup>, S. B. BAMBA<sup>2</sup>, N. SORO<sup>1</sup> et S. BAMBARA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*UFR-STRM, Université de Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

<sup>2</sup>*Centre de recherches océanologiques, 18 BP V18 Abidjan 18, Côte d'Ivoire*

<sup>3</sup>*Centre ivoirien antipollution (CIAPOL), 19 BP1230 Abidjan 19, CI*

(Reçu le 10 Février 2008, accepté le 25 Aout 2008)

---

\* Correspondance et tirés à part, e-mail : *akanatch@yahoo.fr*

### RÉSUMÉ

Long de 725 kilomètres, le N'zi est le principal affluent de rive gauche du fleuve Bandama. A sa principale station hydrométrique (celle de N'zianoa) qui couvre 35000 km<sup>2</sup> (98,6 % de son bassin versant), cette rivière a un module interannuel de 55 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, et un débit spécifique de 1,6 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>. La pluviométrie moyenne sur son bassin versant s'élève à 1060 mm.

De fortes variabilités saisonnières et interannuelles témoignent de l'irrégularité du régime hydrologique mixte de type tropical de transition et équatorial de transition atténué. Les résultats d'analyses chimiques effectuées sur 58 échantillons d'eau prélevés sur la période allant de juillet à août 2005 montrent que le N'zi présente des transports dissous variés, reflet de l'hétérogénéité de son substratum dominé principalement par les schistes et les granites. Ses eaux bicarbonatées sodi-potassiques relativement riches en silice sont faiblement minéralisées.

Les différentes concentrations de matières en suspension et dissoute ramenées au volume d'eau écoulée sur la période (743 millions de mètres cubes d'eau correspondant à 62,5 % du volume annuel), montrent que le N'zi a exporté près de 75000 tonnes de matières dont 25 500 tonnes de matières en suspension (MES) et 50000 tonnes de matières dissoutes. L'estimation annuelle de ces transports de matières solides et dissoutes pour un volume annuel de 1,2 milliard de mètres cube, est de 121.000 tonnes correspondant à une exportation spécifique de 2,38 t.km<sup>-2</sup>an<sup>-1</sup>.

**Mots-clés :** *Transport solide et dissous, bassin du N'zi, régime hydrologique, hydrochimie, Côte d'Ivoire*

**ABSTRACT****Sediment flux in the nzi river catchment basin area, left bank of the river bandama (Côte d'Ivoire)**

With 725 kilometers long, the Nzi river is the main affluent in the left bank of the Bandama river. The main hydrometric station (Nzianoa) covers 35000 km<sup>2</sup> (98.6 % of its catchment basin). This river has an inter-annual module of 55 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, and a specific flow of 1.6 ls<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>. The average rainfall on its catchment basin is 1060 mm. Strong seasonal and inter-annual variability justify the variability of moderate tropical and transitional type and moderate equatorial and transitional type of the mixed hydrological regime. The results from chemical analyses on 58 water samples collected over the period spreading from July to August 2005 show that the river present varied dissolved flux, reflecting the heterogeneity of its substratum dominated mainly by schists and granites.

These sodi-potassic bicarbonated waters, relatively rich in silica, are slightly mineral-bearing. The various concentrations of suspended and dissolved matter, brought back to the volume of water flux during the period (743 million cubic meters of water corresponding to 62.5 % of annual volume), show that river Nzi exported almost 75000 tons of matters including 25 500 tons of suspended matter (MY) and 50000 tons of dissolved matters. Annual estimation of this flux of solid and dissolved matters for an annual volume of 1.2 billion cubic meters, is 121 000 tons, corresponding to a specific export of 2.38 t.km<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>.

**Keywords :** *Solid and dissolved flux, basin of the N'zi river, hydrological regime, hydrochemistry, Côte d'Ivoire*

**I - INTRODUCTION**

Les études d'hydrologie et de qualité des eaux pour des unités géographiques telles que les bassins versants sont des recherches répondant à une demande intérieure et extérieure importante pour le développement [1]. L'Afrique de l'Ouest constitue actuellement un laboratoire particulièrement intéressant puisque les sources et interférences anthropogéniques y sont rares. Ainsi, la finalité de cette recherche, est d'identifier dans les eaux superficiels d'un milieu intertropical "naturel", les phénomènes actuels et les paramètres de références dont l'évolution future permettra d'évaluer d'éventuelles dégradations du milieu et en particulier les pollutions anthropiques. La quantification des apports détritiques et dissous des fleuves africains du

domaine tropical est peu connue. Des recherches ont déjà été entreprises dans ce sens par *J. Y. Gac et A. Kane* [2] sur le fleuve Sénégal, *D. Orange* [1] sur les eaux de surface du Fouta Djalon et *C. Monnet* [3] sur le Bandama pour ne citer que ceux là. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons au bassin versant du N'zi. Le principal intérêt du choix de cette zone géographique, réside dans le contraste existant entre les conditions climatiques (domaine tropical et équatorial), entre les couvertures végétales (savanes et forêts), entre les substratums géologiques (schistes et granites) et surtout du fait que l'écoulement de la rivière n'est pas trop perturbé par les ouvrages de stockage.

Ce bassin a déjà été décrit dans des travaux antérieurs dont les thèses [3,4] qui présentaient déjà les premières données collectées sur sa charge en matières. Les auteurs *S. B. Bamba et al.* [5] en ont fait de même dans une étude qui mettait en évidence le rôle des barrages réservoirs sur l'écoulement et transport du fleuve Bandama. Les travaux de *G. B. Kouadio* [6] ont porté sur la variabilité climatique observée sur ce bassin. Une monographie du N'zi réalisée par *S. Bahiré* [7] a fourni les informations de base pour cette étude.

L'objectif de ce travail est de quantifier les charges solides et dissoutes exportées par le N'zi vers le Bandama. Dans cette optique la rivière a été particulièrement suivie pendant la crue (de juillet à octobre 2005) à son exutoire situé à N'zianoa.

## II - CADRE D'ETUDE

### II-1. Structure du bassin versant du N'zi

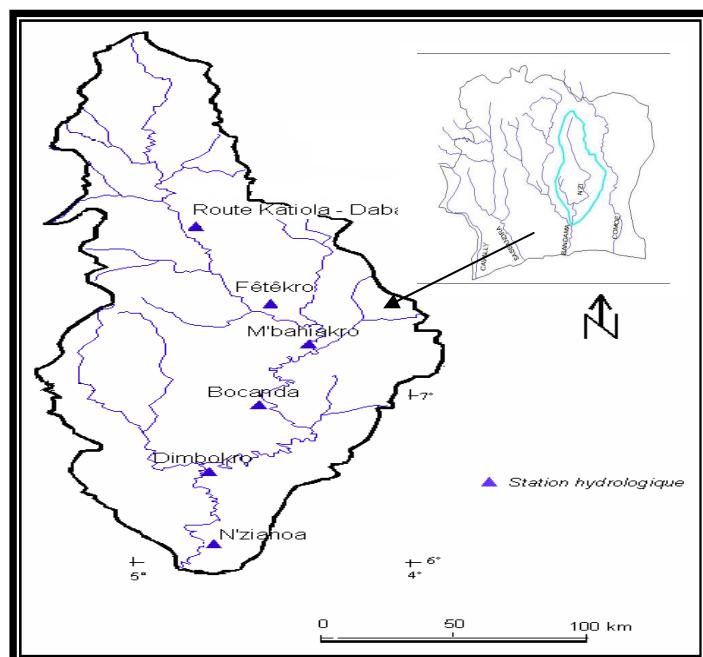
Le N'zi est le principal affluent de rive gauche du Bandama dont la confluence se trouve à 10 kilomètres au nord de Tiassalé. Il draine une superficie de 35500 km<sup>2</sup> et la longueur de son cours est de 725 km. De par sa configuration géographique allongée (3°50 et 5°30 de longitude ouest et 5°58 et 9°25 de latitude nord, le bassin versant du N'zi est représentatif de la Côte d'Ivoire. La station de N'zianoa est située à quelques 120 km au nord d'Abidjan, sur l'axe Abidjan -Yamoussoukro et reçoit la totalité des apports du N'zi car elle draine 35000 km<sup>2</sup> soit 98,6 % du bassin (**Figure 1**). Le basin repose sur un socle ancien composé des formations du protérozoïque inférieur et de l'antébirimien représentés en majeure partie par les granites et les schistes [3].

Le couvert végétal passe du Nord au Sud des savanes aux forêts et évolue sur des sols en majorité ferralitiques. Le régime des pluies varie d'une saison unique dans le Nord, avec une concentration des pluies dans les mois de juillet, août et septembre, à une double saison dans le Sud.

Le N'zi est une rivière à régime hydrologique mixte : tropical de transition et équatorial de transition atténué [3].

## II. 2 Morphologie du bassin

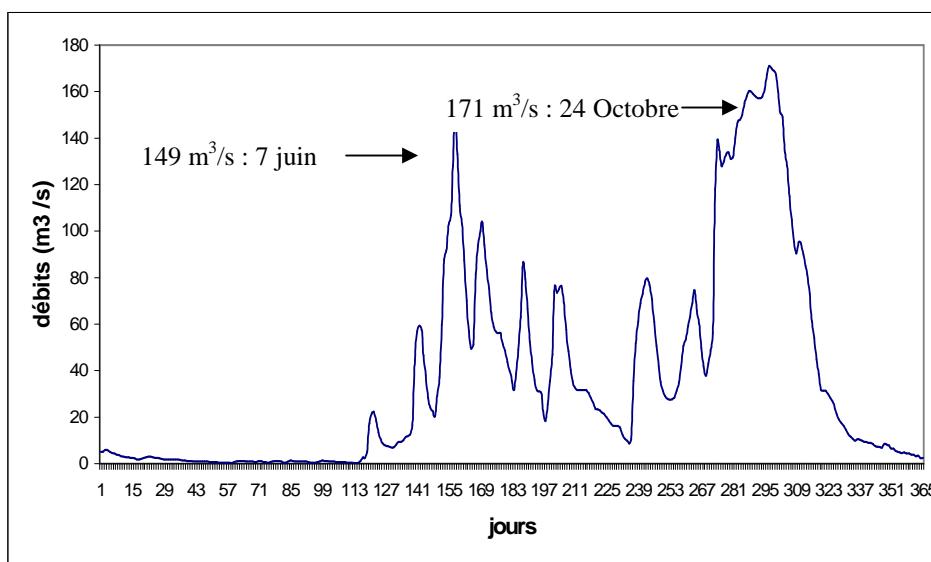
Dans l'ensemble, le bassin versant du N'zi est dominé par un relief assez monotone [8]. Toutefois, il est possible de distinguer quelques grandes unités : une pénéplaine qui se rencontre sur une grande partie du bassin ; un modelé ondulé, caractérisé par une succession de collines plus ou moins subaplanées [3]. Le bassin est délimité par des chaînes de collines dérivant d'intra géosynclinaux. C'est ainsi qu'on a au Sud-Est du bassin les collines de Bongouanou, au Nord-Ouest nous avons les collines du haut N'zi où le fleuve prend sa source, le Nord-Est quant à lui abrite les collines du haut Comoé. Une chaîne de collines très étroites de direction NNE - SSW, appelée collines de Fêtékro traverse le bassin en son centre. La pente du cours d'eau est relativement constante 0,053 %. L'altitude moyenne du bassin est 215 mètres.



**Figure 1 :** Localisation du bassin versant du N'zi

## II-3 Année hydrologique 2005

L'hydrogramme annuel du N'zi de janvier à décembre est représenté par la **Figure 2**. Au cours de l'année 2005, le N'zi a débité  $37,5 \text{ m}^3/\text{s}$  d'eau ce qui correspond à un volume d'eau et un débit spécifique respectifs équivalant à 1,2 milliard de mètres cubes et  $1,1 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ . Ce débit annuel est déficitaire de 31 % par rapport au module interannuel ( $55 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Il correspond à celui d'une année sèche et s'inscrit dans la continuité de la baisse de la pluviométrie constatée depuis la fin des années 1970 sur le bassin [6] et accentuée ces dernières années par une déforestation intense.



**Figure 2 :** Hydrogramme annuel du N'zi à N'zianoa de janvier à décembre 2005

## III – METHODOLOGIE

### III-1. Prélèvements

Il existe de nombreuses techniques de mesures de flux détritiques d'origine continentale. Les plus sophistiquées associent simultanément sur toute la section du fleuve les mesures de la turbidité et de la vitesse du courant [9]. Les conditions idéales étant onéreuses, nous avons opté pour une méthodologie intermédiaire non moins efficace qui allie simplicité et rapidité. Cette méthode a été utilisée antérieurement par *Bamba et al.* [3] et consiste à

faire des prises d'eau de surface à l'aide d'une bouteille NISKIN de capacité 2 litres. *J. F. Nouvelot* [10] a montré sur les cours d'eau tropicaux du Cameroun que l'erreur relative due au prélèvement de surface n'excède pas 10 % de la valeur obtenue à partir d'une intégration des mesures effectuées sur toute une verticale.

Les échantillons d'eau ont été prélevés à la station hydrométrique de N'zianoa et sont conservés dans des flacons en polyéthylène de capacité 1 litre. Les échantillons destinés aux analyses chimiques sont conservés dans une glacière à une température inférieure à 4°C.

Les échantillonnages pour l'analyse des matières en suspension (MES) ont été faits chaque deux jours tandis que ceux destinés aux analyses chimiques se sont faits chaque mois car la variabilité saisonnière des teneurs en éléments dissous est moins importante que celle des matières en suspension [11]. Au cours du prélèvement, nous mesurons le pH, la température et la conductivité de l'eau.

Les prélèvements ont débuté en juillet 2005 et ont pris fin en octobre de la même année ce qui correspond à la période de crue. Il faut ici souligner qu'au cours d'un cycle hydrologique, les périodes de crue jouent un rôle important, voire prédominant, dans l'exportation des matières en suspension [11]. En effet, c'est durant ces périodes de crue que se produit le ruissellement superficiel sur les versants, écoulement qui est responsable de l'érosion mécanique des sols, de l'apport principal de matières solides vers les cours d'eau et de la montée rapide des eaux et des teneurs en suspension du fleuve. Nous avons collecté durant toute cette campagne 58 échantillons repartis de la manière suivante :

- 4 échantillons pour l'analyse des cations majeurs ;
- 4 échantillons pour l'analyse des anions majeurs ;
- 50 échantillons pour les MES.

### **III-2. Analyses physico-chimiques des eaux du N'zi**

#### ***III-2-1. Analyses physiques***

Elles concernent le pH, la température et la conductivité qui se sont faites *in situ* avec un pH-mètre multiparamétrique de type Cyberscan PH 310, muni de deux sondes. Une sonde permet de lire la température et une autre permet de lire le pH et la conductivité. Les sondes sont plongées dans un bêcher contenant l'eau à analyser et les différents résultats s'affichent à l'écran.

### ***III-2-2. Analyses chimiques***

#### *a. Matières en suspension (MES)*

La détermination des concentrations de la charge solide est obtenue après filtration d'un volume V d'échantillon d'eau sur papier Whatman GF/C de porosité  $0,45\mu$ , séchage à  $105^{\circ}\text{C}$  dans une étuve.

La quantité de matière en suspension est donnée par l'expression suivante :

$$\text{MES (mg / L)} = \frac{P_2 - P_1}{V} \quad (1)$$

avec : P1 le poids en mg du filtre avant filtration ;

P2 le poids du filtre après filtration, séchage

V le volume filtré en litre.

Cette quantité ramenée au volume total d'eau ayant transité à la station pendant la période d'étude donne la charge totale de matières en suspension exportées.

On ne tiendra pas compte dans cette étude des transports de fond pour le calcul des MES ; ceux-ci doivent être relativement faibles surtout lorsque le contrôle des matériaux exportés se fait à l'aval des grands bassins versants où les pentes sont faibles [12].

#### *b. Eléments en solution ou matières dissoutes*

Les analyses ont concerné exclusivement les éléments majeurs (silice,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$ ) qui représentent 99 % de la matière minérale en solution dans les eaux superficielles [13] et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) qui sont des marqueurs de pollution.

#### **\*Cations**

Les cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) ont été dosés par la méthode du spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) dans une flamme air-acétylène oxydante [14]. Les différents paramètres dont on doit tenir compte pour l'analyse de ces cations sont résumés dans le **Tableau 1**.

**Tableau 1 :** Caractéristiques d'analyses des cations majeurs

Elément à doser	Longueur d'onde	Flamme	Limite de détection
Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	422,5 nm	Air/acétylène	0,05
Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	285,9 nm	Air/acétylène	0,005
Sodium ( $\text{Na}^+$ )	589,0 nm	Air/acétylène	0,005
Potassium ( $\text{K}^+$ )	766,5 nm	Air/acétylène	0,005

\*La silice a été dosée selon la méthode colorimétrique. Les mesures sont réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 610 nm.

### \*Anions

- **Les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )** : dosage volumétrique au nitrate mercurique en présence de diphenylcarbazone [14] ;
- **les sulfates** ont été dosés par la méthode Néphéломétrique qui consiste à précipiter en milieu chlorhydrique les sulfates à l'état de sulfate de baryum. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre à 650 nm [14];
- **les bicarbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )** ont été analysés par la détermination du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC) par la méthode volumétrique [15].
- **les Nitrates** ont été dosés par colorimétrie à une longueur d'onde 415nm après réaction au salycilate de sodium [14].

### III-3. Méthodes de calcul des flux de matières

Nous avons utilisé la méthode stochastique qui considère que la concentration mesurée dans la rivière au moment d'un prélèvement est représentative de la période séparant deux prélèvements [11]. La formule suivante explique cette relation :

$$Ti = Ki \cdot Qi \cdot Cj \quad (2)$$

avec  $Ti$  : flux de matière de la période i ;  $Ki$  : facteur caractérisant la durée de la période i en seconde ;  $Qi$  : débit moyen de la période i en  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $Cj$  : concentration mesurée en g/L.

Pour déterminer le tonnage des matières dissoutes, nous avons, comme le stipule la méthode stochastique, déterminé les tonnages mensuels en considérant que la concentration de matière dissoute obtenue pour une

analyse mensuelle est représentative de tout le volume d'eau écoulé au cours du mois. La formule suivante traduit de manière plus simpliste la *relation* (2).

$$Tm = Vm \times Cm \quad (3)$$

avec

Tm : Charge mensuelle en tonne ; Vm : Volume d'eau mensuel en m<sup>3</sup> et Cm : Concentration mensuelle en mg/L.

Dans le cas des MES, nous avons déterminé une moyenne mensuelle et ensuite multiplié par le débit mensuel correspondant.

Le tonnage annuel de matériaux exportés par un cours d'eau peut être exprimé par unité de surface en divisant le flux total annuel par la surface totale du bassin : c'est le tonnage spécifique ou flux spécifique ou transport spécifique (t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup> ou kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>). Dans cette étude, ce tonnage sera calculé pour les quatre mois au cours desquels nous avons pu effectuer des prélèvements, ensuite nous allons l'étendre à l'année par estimation.

$$T_s = \frac{T_a}{A} \quad (4)$$

avec Ts : Tonnage spécifique annuel (t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>) ; Ta : tonnage annuel ; A : surface du bassin versant.

Le flux spécifique ou débit spécifique de matière dissoute ou particulaire est le produit du débit liquide par la concentration en élément. Il a pour formule :

$$Ds = C \times Q \quad (5)$$

avec Ds : débit spécifique en kg.s<sup>-1</sup> ; C : concentration en g/m<sup>3</sup>, Q : débit du cours d'eau en m<sup>3</sup>/s.

## **IV – RESULTATS ET DISCUSSION**

### **IV-1. Matières en suspension (MES)**

#### ***IV-1-1. Concentrations***

Les différentes moyennes mensuelles calculées à partir des résultats sont consignées dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2 :** Moyenne mensuelle des concentrations de MES de juillet à Octobre 2005 à N'zianoa

Mois	C (mg/L) de MES
Juillet	12,65
Août	17,25
Septembre	6,66
Octobre	53,66
<b>Moyenne</b>	<b>22,5</b>

Nos résultats démontrent que les concentrations moyennes mensuelles de la charge varient sur la période d'étude de 6,66 mg/L en septembre à 53,66 mg/L en octobre avec une moyenne de 22,5 mg/L. Cette valeur est faible par rapport à celle obtenue sur la même période c'est- à- dire de juillet à octobre en 1997 (41,8 mg/L) par *S. B. Bamba et al.* [5] et très faible par rapport à celle obtenue sur la période 1965-1967 par *C. Monnet* [3] qui était de 129,1mg/L (**Tableau 3**).

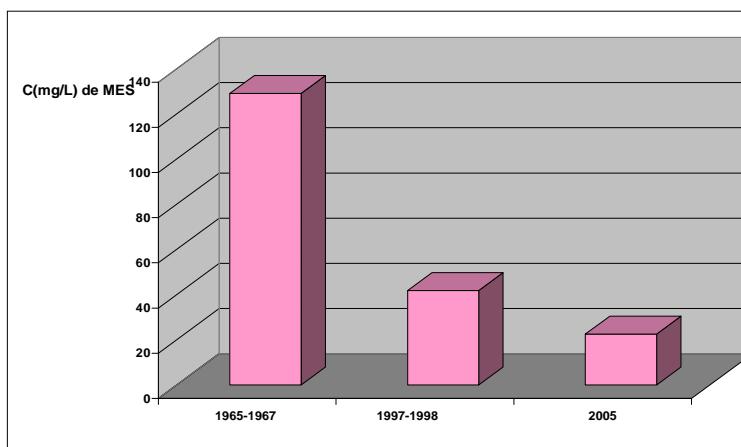
**Tableau 3 :** Concentrations moyennes annuelles en mg/L des MES du N'zi à N'zianoa (1965-1967, 1997-1998 et 2005)

Période	2005 (1)	1997-1998 (2)	1965-1967 (3)	% de chute (1) et (2)	% de chute (1) et (3)	% de chute (2) et (3)
C en mg/L de MES	22,5	41,8	129,1	46,16	82,57	67,62

(1) : Cette étude, (2) : [5], (3) : [3]

Nous constatons qu'une comparaison entre les concentrations mesurées antérieurement et la notre montre une chute des charges solides de près de 82 % par rapport au résultat obtenu par *C. Monnet* [3] et de 46 % par rapport à celui déterminé par *S. B. Bamba et al.* [5] bien que le débit annuel de cette période ( $21,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) soit inférieur à celui de 2005.

L'évolution comparée de ces concentrations est représentée par la **Figure 3**.



**Figure 3 :** Variation des concentrations en mg/L des MES durant les périodes 1965-1967, 1997-1998 et l'année 2005

Cette chute drastique des matières en suspension est à mettre au compte d'abord de la faiblesse des écoulements observés ces dernières années sur le bassin qui entraîne la faible mobilisation des MES. Ensuite, elle est aussi due aux nombreuses retenues d'eau construites sur le bassin et qui jouent un rôle de piège à sédiment. Ces retenues d'eau ont été généralement réalisées durant la période 1970-1980 [16].

Le **Tableau 4** présente le nombre de barrages construits sur le bassin du N'zi, et leur répartition par usage. Le bassin comprend 73 retenues d'eau occupant une superficie aménagée de 1445 ha et un volume d'eau stockée de  $88.10^6 \text{ m}^3$  dont la répartition par usage est dominée par les retenues d'eau agropastorales.

Il faut enfin noter que le bassin du N'zi est doté de 15 % des barrages agricoles et dispose de 15 % des superficies totales exploitées sur le territoire national [16].

**Tableau 4 :** Nombre et répartition des barrages par usage sur le bassin du N'zi [17].

Nombre de barrages	Volume d'eau stockée $10^6 \text{ m}^3$	Superficies en ha		Agricole et AEP	Piscicole	Pastoral	Mixte et autres
		Aménagées	Exploitées				
73	88	1445	1025	23	4	29	17

#### **IV-1-2. Flux particulaires**

Le débit solide maximal est observé en octobre avec une valeur de  $8,1 \text{ kg.s}^{-1}$ . Le débit solide minimal est enregistré en septembre ( $0,335 \text{ kg.s}^{-1}$ ) (**Tableau 5**). Cette grande variation est en relation avec les débits liquides. Les écarts importants entre les extrêmes (de l'ordre de 24) sont cinq fois plus élevés que ceux des débits liquides.

**Tableau 5 : Débits liquides et débits solides du N'zi à N'zianoa (2005)**

Mois	Débits mensuels ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Concentrations des MES ( $\text{g/m}^3$ )	Flux de MES ( $\text{kg/s}$ )
<b>Juillet</b>	47,78	12,65	0,604
<b>Août</b>	30,46	17,25	0,525
<b>Septembre</b>	50,26	6,66	0,335
<b>Octobre</b>	150,6	53,66	8,1

#### **IV-1-3. Bilan quantitatif des transports particulaires**

Le **Tableau 6** montre l'évolution comparée des exportations solides et du bilan hydrologique du N'zi. La quantité de matières solides transportées est fonction du volume d'eau écoulée. C'est ainsi que le mois de juillet, pour une valeur de concentration en MES ( $12,5 \text{ mg/L}$ ) inférieure à celle d'août ( $17,5 \text{ mg/L}$ ), transporte plus de matières solides (1618,7 tonnes) que ce mois (1407,33 tonnes) du fait de l'écoulement plus important. Quant au mois d'octobre, il y'a eu plus de volume écoulé et la concentration en MES est plus élevée ce qui explique un fort tonnage des MES qui représente à lui seul près de 85 % du total de MES transportées par la rivière au cours de la période d'étude.

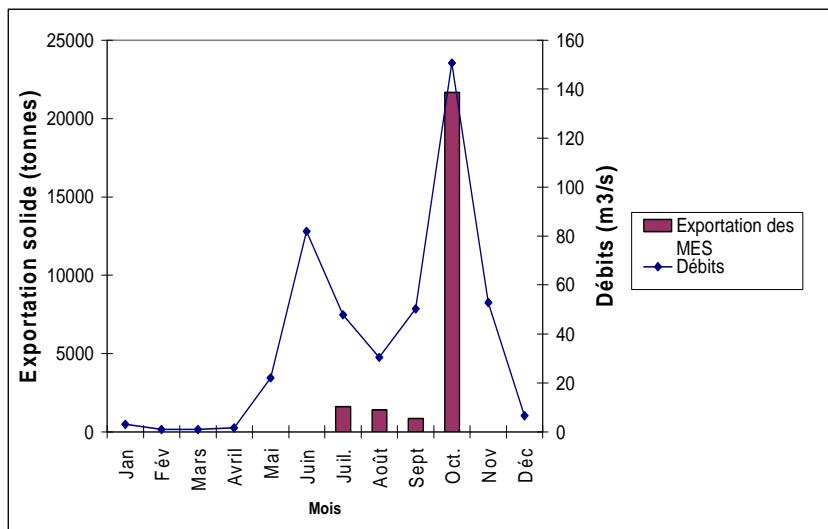
Pour un volume d'eau écoulé de 743 millions de mètres cubes, de juillet à octobre 2005, l'exportation solide s'élève à 25500 tonnes, ce qui correspond à une ablation mécanique sur la période proche de  $0,73 \text{ t.km}^{-2}$ . En supposant que l'apport en volume de cette période représente 62,5 % de l'écoulement annuel chiffré à 1,2 milliards de mètres cubes, on aboutit à un bilan annuel d'exportation solide estimé à 41000 tonnes, correspondant à une ablation mécanique proche de  $1,17 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ .

**Tableau 6 : Bilan hydrologique et bilan des transports solides du N'zi à N'zianoa**

Mois	Volume d'eau écoulé ( $10^6 \text{m}^3$ )	Charge solide (mg/L)	Exportation solide ( $10^9 \text{tonnes}$ )	Pourcentage des exportations
Juillet	127, 974	12,65	1, 619	6,34
Août	81, 584	17,25	1, 407	5,51
Septembre	130, 280	6,66	0,868	3,4
Octobre	403, 367	53,66	21, 645	84,75
<b>Total</b>	<b>743, 205</b>	22,5*	<b>25, 539</b>	<b>100</b>

\* moyenne

Les résultats du **Tableau 6** sont illustrés par la **Figure 6**.



**Figure 4 : Débits et exportation solides du N'zi à N'zianoa**

## IV-2. Matières Dissoutes

### IV-2-1. Concentrations en éléments dissous

Les résultats d'analyses chimiques des matières dissoutes faites sur huit échantillons d'eau sont présentés dans le **Tableau 7**.

Les concentrations en matières minérales dissoutes sur le bassin du N'zi varient peu, et oscillent autour d'une moyenne de 63,25 mg/L. La

concentration la plus élevée (74,75 mg/L) a été observée en octobre. Quant à la valeur la plus faible (46 mg/L), elle est observée en septembre.

**Tableau 7 : Concentration mensuelle des éléments dissous en mg/L du N'zi à N'zianoa.**

Mois	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	Total dissous
Juil.	31,2	2,39	5,2	1,31	1,9	5,9	3,4	4,5	8,2	<b>64</b>
Août	15,5	12,2	2	1,41	8,15	2,3	8,7	4	14	<b>68,26</b>
Sept	12,3	16,4	3	0,32	1,31	0,85	0,33	2,55	9	<b>46</b>
Oct.	15,9	11,2	3	1,46	12,4	1,38	13	3,7	12,7	<b>74,75</b>
Moy.	<b>18,73</b>	<b>10,54</b>	<b>3,3</b>	<b>1,12</b>	<b>5,94</b>	<b>2,6</b>	<b>6,36</b>	<b>3,69</b>	<b>10,98</b>	<b>63,25</b>

#### **IV-2-2. Etude physicochimique des eaux du N'zi**

##### *a. Paramètres physiques*

Les résultats inhérents aux principales caractéristiques des eaux qui sont représentés ici par les paramètres physiques des eaux du N'zi sont consignés dans le **Tableau 8**.

**Tableau 8 : Paramètres physiques des eaux du N'zi à N'zianoa de juillet à août 2005**

Mois	pH	Conductivité (µS/cm)	T °C
Juil.	7,32	71,8	27,6
Août	7,62	82,5	27,1
Sept	5,44	67,9	28,8
Oct.	7,23	61,9	27,5
Moy.	<b>6,9</b>	<b>71,025</b>	<b>27,7</b>

##### *- pH*

De façon générale, le pH des eaux du N'zi reflète le pH des eaux de crue. Les valeurs du pH se situent entre 5,44 et 7,62 avec une moyenne de 6,9 qui est proche de la neutralité. Ces valeurs de pH sont comparables à celles observées en 1997 par S. B. Bamba *et al.* [5] dont la moyenne se situait autour de 7,1.

### - **Température**

Les températures des eaux du N'zi varient peu autour d'une moyenne de 27,75°C. Ces valeurs de température sont un peu élevées par rapport à celles de l'air ambiant (25°C). L'ensoleillement de surface est un facteur important responsable des valeurs élevées de température observées.

### - **Conductivité**

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement la minéralisation totale de l'eau. Les valeurs de conductivité mesurées à la station de N'zianoa varient de 82,5 $\mu$ S/cm dans le mois d'août à 61,9  $\mu$ S/cm dans le mois d'octobre où le débit de pointe est atteint. La valeur moyenne est de 71  $\mu$ S/cm. Ces valeurs de conductivité sont très faibles et témoignent de la très faible minéralisation des eaux du N'zi [14].

### b. Typologie des eaux du N'zi à N'zianoa

#### - **Cations dans les eaux du N'zi**

Durant la période d'étude, nous observons que les eaux du N'zi contiennent davantage de sodium (6,36 mg/L) et de calcium (5,94 mg/L) que de magnésium (2,6 mg/L) et de potassium (3,69 mg/L) (**Tableau 7**).

La somme des cations, avec une concentration de 18,59 mg/L, représente 30 % de la charge pondérale dissoute.

#### - **Anions dans les eaux du N'zi**

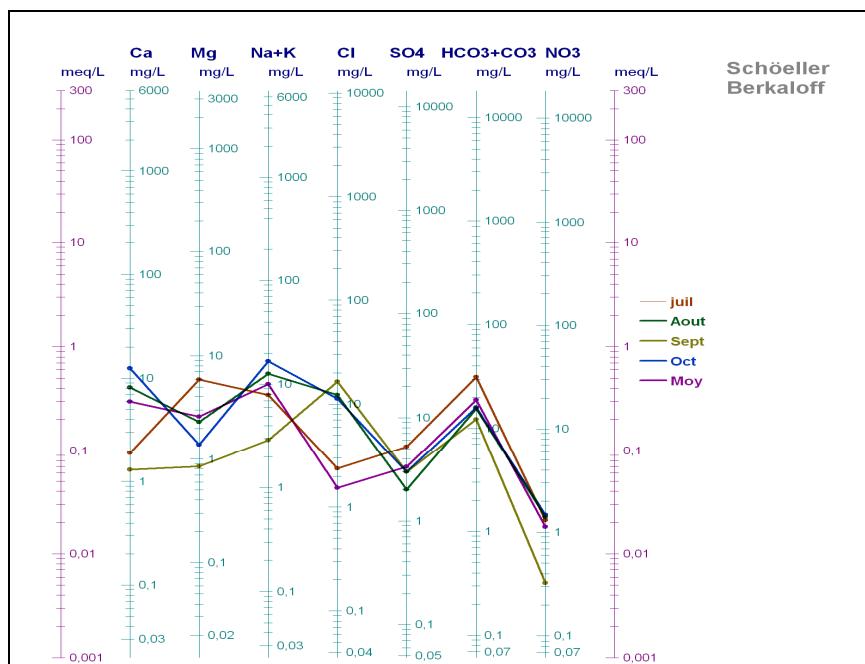
La teneur en hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) est de 18,78 mg/L et elle est sur la période d'étude, la forme anionique dominante. Elle contribue à près de 56 % à la charge totale des anions suivis des chlorures avec une concentration de 10,54 mg/L. Les charges élevées de chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) observées seraient dues à l'influence des eaux météoriques d'où provient la majeure partie des chlorures en solution [11]. Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), comparativement aux deux anions précités, ont des teneurs très faibles avec des concentrations mensuelles respectives de (3,3 mg/L) et de 1,12 mg/L.

Ces faiblesses de concentrations en sulfates et en nitrates démontrent que les eaux du N'zi sont très peu polluées, malgré le fait qu'elles traversent de grandes localités.

Les anions avec une concentration de 33,7 mg/L, représentent près de 53 % de la charge pondérale dissoute.

### c. Physico - chimie du N'zi à N'zianoa

Les résultats d'analyses chimiques portés sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (**Figure 5**) montrent que les eaux du N'zi à N'zianoa sont classées dans la catégorie des eaux bicarbonatées sodi-potassiques, riches en silice. Ce faciès serait par conséquent le reflet de la géochimie des formations schisteuses et granitiques qui couvrent l'ensemble de son bassin versant. La silice dissoute représente à elle seule 17 % de la charge pondérale dissoute. Elle provient en grande partie de l'altération des minéraux primaires (feldspaths, micas et pyroxènes).



**Figure 7 : Composition chimique moyenne mensuelle des eaux du N'zi à N'zianoa**

### IV-2-3. Flux dissous

Les différentes valeurs mensuelles des flux dissous sont consignées dans le **Tableau 9**. Nous remarquons qu'au cours de la période d'étude, les flux ont varié entre 2,08 et 11,71 kg.s<sup>-1</sup> et ils sont directement contrôlés par les débits.

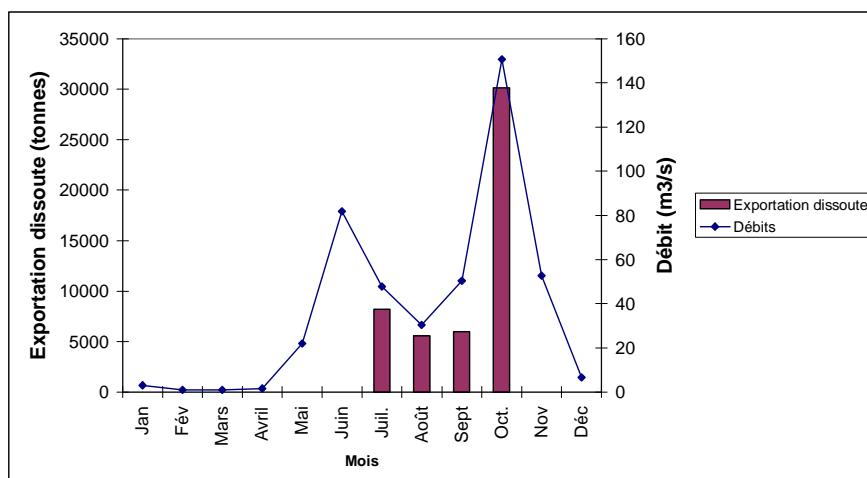
Le rapport des débits extrêmes est faible (proche de 6) par rapport à celui déterminé pour les MES qui est de 24. Cela est dû au fait que pour une variation de débit liquide donné, les concentrations en matières dissoutes varient peu par rapport aux concentrations en matières en suspension.

**Tableau 9 :** Débits liquides, concentration et flux dissous du N'zi à N'zianoa (juillet-octobre 2005)

Mois	Débit liquide (m <sup>3</sup> /s)	Concentration (g/m <sup>3</sup> )	Flux dissous (kg.s <sup>-1</sup> )
<b>Juillet</b>	47,78	64	3,06
<b>Août</b>	30,46	68,26	2,08
<b>Septembre</b>	50,26	46	2,31
<b>Octobre</b>	150,6	74,75	11,71

#### IV-2-4. Exportation minérale dissoute

On remarque que l'essentiel des transports dissous (61 %) a lieu en octobre et équivaut au maximum des débits (**Figure 6**). Sur la période d'étude, le N'zi a transporté près de 50 000 tonnes de matières minérales dissoutes pour un volume d'eau écoulé de 743 millions de mètres cubes. Cela correspond à un transport spécifique sur les quatre mois de 1,4 t.km<sup>-2</sup>. Le volume d'eau annuel exporté par le N'zi étant de 1,2 milliards de mètres cubes, on peut estimer le tonnage annuel de matières dissoutes à 80000 tonnes correspondant à un transport spécifique de 2,28 t.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>.



**Figure 6 :** Débits et exportation dissoute du N'zi à N'zianoa 2005

#### IV-3. Bilan des exportations solides et dissoutes

Le bilan des exportations solides et dissoutes est consigné dans le *Tableau 10*.

**Tableau 10 : Bilan des exportations du N'zi à N'zianoa (juillet-octobre 2005)**

Mois	Débit $m^3 s^{-1}$	Volume $10^6 m^3$	Exportation solide		Exportation dissoute	
			t	$t \cdot km^{-2}$	t	$t \cdot km^{-2}$
Juillet	47,78	128	1618,87		8024,62	
Août	30,46	81,6	0,046		0,230	
Sept.	50,26	130,28	1407,32		5455	
Oct.	150,6	403,37	0,040		0,155	
<b>Total</b>	<b>279,1</b>	<b>743</b>	<b>0,025</b>		<b>0,170</b>	
<b>Total annuel</b>	<b>37,5*</b>	<b>1.200</b>	<b>21644,67</b>	<b>0,62</b>	<b>29559</b>	
				<b>25.500</b>	<b>0,73</b>	<b>50.000</b>
				<b>41.000</b>	<b>1,17</b>	<b>80.000</b>
						<b>2,28</b>

\* moyenne annuelle

Il ressort de ce tableau que pour un volume annuel d'eau écoulée équivalant à 1,2 milliards de mètre cube, 121.000 tonnes de matières dont 41.000 tonnes de MES et 80.000 tonnes de matières dissoutes ont transité à N'zianoa.

#### IV-4. Comparaison avec les études menées antérieurement sur le bassin

La comparaison des volumes d'eau écoulée et des exportations (solides et dissoutes) moyennes de l'année 2005 avec les études antérieures menées sur la période (1997-1998) par *S. B. Bamba et al.* [5] et la moyenne 1965-1967 menée par *C. Monnet* [3] (*Tableau 9*), montre comme nous l'avons déjà souligné, une baisse des volumes d'eau de la période 1997-1998 et l'année 2005 par rapport à la période 1965-1967 qui fait partie de la période humide.

Les exportations étant tributaires des débits liquides, la baisse des volumes d'eau va se traduire par une baisse des exportations solides et dissoutes. Cependant les transports en MES sont, pour la période 1997-1998 et l'année 2005, inférieurs aux transports de matières dissoutes alors qu'on remarque l'effet contraire au cours de la période 1965-1967. Cet état de fait peut

s'expliquer par le fait que les sédiments sont retenus en amont par les différentes retenues d'eau construites à partir des années 1970 par le gouvernement dans le cadre du programme de l'aménagement de la vallée du Bandama (AVB). Cela entraîne un déséquilibre dans les budgets sédimentaires littoraux avec pour conséquence une régression du trait de côte de l'ordre de 0,5 mètre par an [17].

**Tableau 9 : Comparaison des volumes d'eau écoulée et des exportations moyennes (solides et dissoutes), 1965-1967, 1997-1998 et 2005 du N'zi à N'zianoa**

Période	Volume écoulé ( $10^9 \text{ m}^3$ )	Exportations solides en tonnes	Exportations dissoutes en tonnes
1965-1967	2,5328	327.225,67	108.800
1997-1998	0,521	21.829	40.424
2005	1,2	41.000	80.000

## V - CONCLUSION

Au cours de cette période de l'étude allant de juillet à octobre 2005, la charge en MES des eaux du N'zi avec une moyenne de 22,5 mg/L, est faible. Les exportations solides sont de 25500 tonnes pour un volume d'eau écoulée de 743 millions de mètres cubes correspondant à 62,5 % du volume annuel ( $1,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ). Ainsi, on peut estimer le bilan annuel des exportations solides à 41.000 tonnes correspondant à un transport solide spécifique de  $1,17 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ .

Les eaux de drainage du bassin sont très faiblement minéralisées (63,25 mg/L) avec un chimisme à dominance bicarbonatée sodi-potassique et riche en silice. Les exportations dissoutes s'élèvent à 50000 tonnes. Cette exportation ramenée à l'année hydrologique 2005 est estimée à 80 000 tonnes et correspond à une altération chimique de  $2,28 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ .

Les transports de matières dissoutes et solides se sont élevés à près de 75 500 tonnes et ont été estimés à 121000 tonnes au cours de l'année 2005. La fraction soluble représente 66 % des exportations et la fraction particulaire 34 %.

Dans la dynamique actuelle des paysages, les processus d'altération chimique ( $2,28 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ) l'emportent en terme de bilan sur les mécanismes de dégradation mécanique ( $1,17 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ) qui affectent le bassin versant du fleuve N'zi. L'érosion globale sur le bassin est estimée à  $3,45 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ .

## RÉFÉRENCES

- [1] - D. ORANGE « Hydroclimatologie du Fouta Djalon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'ouest) ». Univ. L. P. strasbourg (1990) 220 p.
- [2] - J. Y. GAC, A. KANE « Le fleuve Sénégal : I. flux continentaux de matières dissoutes à l'embouchure ». *Sci. Géol., bull.*, 39, 2, Strasbourg, (1986) pp. 151-172.
- [3] - C. MONNET – « Contribution à l'étude de la dynamique et de la nature des suspensions d'un fleuve intertropical, le Bandama, Côte d'Ivoire. Evolution des éléments chimiques des eaux de son estuaire ». Thèse Sci., Géol., Univ. de Nice, (1972) 427 p.
- [4] - F. LENOIR – « Exportation chimique d'un bassin intertropical, (le Bandama, Côte d'Ivoire). Influence des conditions hydrologiques ». Thèse Sci., Géol., Univ. de Nice, ORSTOM, (1972) 402 p.
- [5] - S. B. BAMBA, J. ABE, B. S. METONGO, K. AFFIAN et A. A. ADINGRA « Transport particulaire et dissous d'un fleuve intertropical, le Bandama (Côte d'Ivoire) ». BIOTERRE, *Rev. Inter. Sci. de la Vie et de la Terre*, Vol. 4, N°1, *Editions Univ. de Côte d'Ivoire*, (2004) pp 38-59.
- [6] - G. B. KOUADIO – « La caractérisation de la variabilité climatique et de la sécheresse des ressources en eau de la Côte d'Ivoire : cas du bassin versant du N'zi ». Mém DEA, Univ. A. A. Abidjan, (2004) 71
- [7] - BAHIRE S. – « Monographie sur le N'zi ». Mém. cycle ingénieur, (1986) 184p.
- [8] - J. M. AVENARD, M. ELDIN, G. GIRARD, J. SIRCOULON, P. TOUCHEBOEUF, L. GUILLAUMET, E. ADJANOHOUN et A. PERRAUD – « Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire ». Mémoire ORSTOM, N°50 (1971) 391p.
- [9] - B. BILLON – « Mise au point des mesures de débits solides en suspension (République du Tchad) », Cah. ORSTOM, série Hydrol. 2 (1968) pp3-13.
- [10] - J. F. NOUVELOT « Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun ». Cah. Orstom, Sér. Hydrol., 6 (4) (1969) 43-86.
- [11] - J. L. PROBST « Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années ». *Sc. Géol. Mém.* N° 94 (1992) 141 p.
- [12] - J. CORBEL « L'érosion terrestre. Etude quantitative ». *Ann. Géographie*, 73, 398 (1964) pp 385-412.
- [13] - D. A. LIVINGSTONE "Chemical composition of rivers and lakes". Data of geochemistry chapter G, U.S. Geol. Survey Prof. (1963) Paper 440 G, G1- G64.

- [14] - J. RODIER - Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8<sup>ème</sup> éd. Dunod, (1996) 1384 p.
- [15] - AFNOR – Mesure de l'alcalinité – NF T 90-036 (1977).
- [16] - DCGTx - Inventaire et diagnostic des barrages / Programme Sectoriel Aménagement Rural, Direction et Contrôle de Grands Travaux d' Abidjan (1996).
- [17] - K. P. KOFFI, J. ABE, K. AFFIAN - Evaluation actuelle du littoral ivoirien (Résultats préliminaires du suivi 1985-1987). Note à diffusion restreinte, Novembre 1987, Centre de Recherches Océanologiques (1987).