

# Physico-chimie des pluies du sud Cameroun forestier

Yvette Clarisse Mfopou Mewouo<sup>\*1,2</sup>, J.R. Ndam Ngoupayou<sup>2</sup>, M. Yemefack<sup>1</sup> & V. Agoumé<sup>1</sup>

Keywords: Rainfall- Weather variations- Bushfires- Storm water quality- Deforestation- South Cameroon

## Résumé

*Cette note est une contribution à la connaissance physico-chimique des pluies du Sud Cameroun situé en zone forestière tropicale humide. Les eaux de pluies ont été échantillonnées à Nsimi en 2001/2002. Le chimisme des eaux pluviales permet de déceler des apports atmosphériques importants sous forme soluble. Les teneurs en cations majeurs sont relativement élevées ( $TZ^+ = 140 \mu\text{eq/l}$ ). Les anions majeurs sont moins représentés ( $TZ^- = 51 \mu\text{eq/l}$ ). La charge minérale dissoute ( $TDS = 5,76 \text{ mg/l}$ ) est supérieure à la moyenne caractéristique des  $TDS$  ( $3,60 \text{ mg/l}$ ) des eaux des pluies des régions tropicales. La matière organique dissoute ( $COD = 1,20 \text{ mg/l}$ ) est faible, mais relativement élevée pour la région. Les teneurs en ions chlorure et sodium sont décroissantes, traduisant leur origine marine, tandis que celles du potassium et du calcium augmentent. Cette augmentation et les corrélations significatives entre ces éléments soulignent d'autres sources potentielles. Les feux de brousse et la déforestation feraient partie de ces sources qui entraînent la modification des apports atmosphériques et les variations climatiques. L'aspect qualitatif des pluies (pluies acides, teneur élevée de certains éléments) est susceptible d'entraîner directement des perturbations au niveau de la production agricole.*

## Summary

### Physicochemical of Rains in Southern Forest Cameroon

*This paper is a contribution to the physicochemical knowledge of the rains of the humid tropical forest area of Southern Cameroon. Rain water were sampled at Nsimi area in 2001/2002. The chemistry of rain waters can detect important atmospheric inputs under soluble form. The contents of major cations are relatively high ( $TZ^+ = 140 \mu\text{eq/l}$ ). The major anions are less represented ( $TZ^- = 51 \mu\text{eq/l}$ ). Total dissolved salt ( $TDS = 5.76 \text{ mg/l}$ ) is above average characteristic of  $TDS$  ( $3.60 \text{ mg/l}$ ) of tropical region rain waters. The dissolved organic matter ( $COD = 1.20 \text{ mg/l}$ ) is low, but relatively high for the region. The levels of sodium and chloride ions are decreasing, reflecting their marine origin, while those for potassium and calcium increase. This increase and a significant correlation between these factors underline other potential sources. The bush fires and deforestation would make part of these sources that cause the change in atmospheric inputs and climatic variations. Qualitative aspects of rainfall (acid rain, important atmospheric inputs under soluble form of some elements) is likely to influence agricultural production.*

## Introduction

Depuis les conférences de Dublin, de Rio et de Johannesburg sur l'environnement, les investigations sur les variations climatiques et leurs impacts sur les ressources en eaux, la qualité des apports atmosphériques et l'impact des changements globaux sur l'environnement sont au centre des débats scientifiques (3).

Dans le domaine forestier tropical humide d'Afrique centrale, la plupart des études hydrochimiques se sont surtout intéressées aux eaux de drainage des grands bassins fluviaux (4). Les études sur la chimie des précipitations ont été beaucoup développées en zones tempérées à cause de la pollution due aux industries et à la forte intensité du trafic routier. Elles ont ainsi permis d'obtenir les données sur les aérosols et les gaz hydrosolubles présent dans l'atmosphère (7). Ces genres d'études ne furent considérées avec beaucoup d'attention en zone intertropicale que tardivement.

Dans cette zone, très peu d'études physico-chimiques complètes existent sur les entrées par précipitations qui jouent pourtant un rôle non négligeable sur les variations climatiques, les bilans d'altérations, les modifications des écosystèmes et les rendements agricoles. Les études récentes effectuées sur la composition chimique des dépôts secs et humides en Afrique Occidentale et Centrale (15) montrent que l'Afrique Tropicale n'est pas dépourvue de pollution atmosphérique, contrairement aux idées largement répandues. Les forêts émettent des composés azotés, nitrés et organiques qui contribuent à modifier la composition chimique de l'atmosphère. Elles permettent également de constater que le caractère acide ( $4 < \text{pH} < 6$ ) des eaux de pluies (dû aux acides organiques) dans cette zone est comparable à celui observé dans les pays industrialisés.

Afin de prévoir les impacts des variations climatiques

<sup>1</sup>Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), B.P. 2067, Yaoundé, Cameroun.

<sup>2</sup>Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, B.P. 812, Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun.

\*Toute correspondance à: E-mail: mfopou2001@yahoo.com/Tel: (237)75916707.

Reçu le 09.05.08 et accepté pour publication le 06.11.09.

enregistrées ces dernières années sur les ressources en eaux et l'agriculture, une étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de pluie du petit bassin versant expérimental (BVE) de Nsimi a été effectuée. Ce BVE fait l'objet d'un suivi pluridisciplinaire depuis 1993 pour les études des cycles hydro-biogéochimiques en milieu tropical et a été retenu depuis 2003 par les institutions de recherches françaises et camerounaises comme un Observatoire de Recherche en Environnement pour les bassins versants expérimentaux tropicaux (ORE/BVET).

## Matériels et méthodes

### Le BVE de Nsimi dans le Sud Cameroun

Le BVE de Nsimi (60 ha) est situé à environ 250 km de l'océan Atlantique et à 120 km au SE de Yaoundé. Il appartient au Plateau sud camerounais qui fait partie intégrante de la vaste surface d'érosion africaine (12). A l'échelle régionale, le Plateau sud camerounais est constitué par un ensemble de collines mollement ondulées dérivant d'un relief en demi-orange. Sur le BVE de Nsimi, les altitudes sont comprises entre 669 et 703 mètres. En contrebas des versants concavo-convexes, la zone de bas fond marécageux occupe environ 20% de la superficie du bassin. Ce dernier est drainé par le Mengong, ruisseau tributaire du So'o, principal affluent en rive gauche du fleuve Nyong. Le climat est du type équatorial à quatre saisons. Les températures sont relativement élevées, la moyenne se situant autour de 24 °C. La végétation naturelle est essentiellement constituée d'une forêt tropicale humide dégradée par endroit par l'agriculture. Le substratum géologique est essentiellement constitué de roches métamorphiques et plutoniques d'âge précambrien (8), dominé par les granites à hypersthènes dans le BVE de Nsimi. Sur les collines et les versants, s'est développé un épais profil latéritique de 20 à 40 m de profondeur (11). La fragilité et la fertilité limitée des sols latéritiques contraignent les agriculteurs à renouveler annuellement les terrains cultivés par les techniques de jachère rotatives. Etant financièrement limités, ils n'utilisent pas les engrais et les produits chimiques (pesticides). L'élevage, très peu développé est généralement pratiqué de façon artisanale. Les populations autochtones exploitent de façon rudimentaire, la forêt pour la recherche du bois de construction ou de chauffage, utilisent les feux de brousse pour les cultures et l'extension des plantations agricoles.

### Collectes des données sur le terrain et en laboratoire

L'étude physico-chimique des eaux de pluies a été conduite dans le BVE de Nsimi durant l'année hydrologique 2001/2002. Les échantillons sont collectés dans des sacs de congélation placés dans un échantillonneur à sac en début de pluie, puis

conservés dans un congélateur à 4 °C afin d'empêcher d'éventuelles modifications de la composition chimique inhérente à l'activité biologique.

Les analyses ont été effectuées au Laboratoire des Mécanismes et de Transfert en Géologie (LMTG) ainsi qu'au Laboratoire d'Aérodologie de l'Université Paul Sabatier de Toulouse. Les déterminations suivantes ont été effectuées: l'alcalinité par titration selon la méthode de Gran; l'analyse de la silice par colorimétrie à l'heptamolybdate d'ammonium sur Technicon Auto Analyseur II; le COD (carbone organique dissous) dosé par combustion catalytique à 680 °C après acidification et dégazage suivi de la détection du CO<sub>2</sub> par infrarouge non dispersif sur un analyseur Shimadzu TOC 5000; les concentrations en cations basiques (Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) et celles des anions (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) par chromatographie ionique (Dionex DX 100). Toutes ces techniques sont décrites par Freydier *et al.* (2).

## Résultats et discussions

### Caractéristiques des paramètres physico-chimiques des pluies du BVE de Nsimi

Le tableau 1 résume les caractéristiques principales des pluies du BVE de Nsimi en 2001/2002. Dans l'ensemble, ces eaux sont très peu minéralisées. La conductivité électrique est comprise entre 2,00 et 17,60 µs/cm pour une moyenne de 5,67 µs/cm, comparable à celles obtenues (5,60 µs/cm) par Braun *et al.* (1) dans le même bassin.

Les teneurs en cations majeurs (Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et Ca<sup>2+</sup>) observées sont relativement élevées par rapport aux concentrations obtenues dans le même bassin par Ndam (10), Freydier *et al.* (3), Sigha *et al.* (14). Ces teneurs très élevées pourraient se justifier par la faible quantité des pluies (1404 mm) enregistrées au cours de cette année-là, ce qui entraînerait plus de concentration d'éléments en solution. Elles sont également supérieures aux valeurs obtenues par Freydier *et al.* (3) à Bangui en République Centrafricaine, Lamto en Côte d'Ivoire ainsi que Lacaux *et al.* (6) à Dimonika et Boyélé et comparables aux valeurs obtenues par Yoboué (16) sur le bassin forestier d'Iboké en Côte d'Ivoire. La moyenne des équivalents cations (TZ<sup>+</sup>) est de 140 µéq/l. Le calcium est le cation dominant (35% de TZ<sup>+</sup>), suivi par l'ammoniac (28% de TZ<sup>+</sup>) et le potassium (16% de TZ<sup>+</sup>), le magnésium (11% de TZ<sup>+</sup>) et le sodium (10% de TZ<sup>+</sup>).

Les teneurs en anions majeurs (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) observées sont par contre, du même ordre de grandeur que les valeurs observées par Ndam (10), Sigha *et al.* (14) et supérieures à celles obtenues par Freydier *et al.* (3) dans le même bassin. Elles sont en général, inférieures à la plupart des valeurs rapportées dans la littérature pour d'autres zones tropicales. Mentionnons ici les résultats de Sigha (13)

Tableau 1  
Composition chimique des eaux des pluies du BVE de Nsimi pour l'année 2001

Dates	Pluies	H	CE	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	TZ <sup>+</sup>	TZ <sup>-</sup>	TDS	COD	BI	Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>
		mm	µs/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	mg/l	µeq/l	µeq/l	mg/l	mg/l	%	
16/03/2001	P 1	30	5,30	2,10	11,46	2,56	1,37	6,10	2,38	10,90	3,17	25	s,d	31,06	44,61	3,22	1,23	-35,82	0,88
21/03/2001	P 2	9	6,50	3,31	13,17	4,77	2,57	11,85	4,06	13,01	3,05	38	0,08	50,09	61,18	4,67	1,07	-19,93	0,82
27/03/2001	P 3	12	5,50	2,72	13,68	3,86	1,89	7,52	2,25	11,35	2,37	10	s,d	39,08	28,34	2,43	1,20	31,86	1,21
03/04/2001	P 4	8,8	5,00	2,68	6,81	4,48	1,60	3,60	1,64	9,84	1,70	40	s,d	24,37	54,88	3,81	1,21	-77,00	1,63
13/04/2001	P 5	25	17,60	36,15	173,23	88,73	37,57	77,14	15,54	9,59	8,21	13	0,22	527,54	54,54	14,35	2,73	162,52	2,33
18/04/2001	P 6	16	4,10	3,77	9,70	14,40	6,83	18,63	1,33	5,79	0,85	47	s,d	78,78	55,83	5,09	0,99	34,10	2,84
25/04/2001	P 7	3,5	6,80	17,01	20,01	12,43	10,80	73,49	5,49	20,28	3,56	22	0,14	218,03	54,89	7,71	2,05	119,55	3,10
28/04/2001	P 8	14	9,50	67,30	37,25	70,80	17,07	41,83	22,38	4,69	2,28	28	0,13	293,16	59,63	10,20	2,40	132,39	3,01
05/05/2001	P 9	14	4,70	6,08	21,21	11,10	6,69	32,26	1,82	5,63	1,63	2	s,d	116,30	12,72	3,10	1,11	160,57	3,34
14/05/2001	P 10	17	6,40	17,37	12,03	22,21	4,24	12,42	2,22	10,56	3,10	10	s,d	84,91	28,98	3,72	1,23	98,22	7,83
23/05/2001	P 11	50	4,20	4,26	26,62	10,00	3,12	14,12	1,59	9,38	2,98	30	0,08	75,37	46,94	4,44	0,98	46,49	2,68
31/05/2001	P 12	9	11,10	47,72	15,13	53,35	28,83	84,01	12,77	18,20	3,58	31	0,60	341,90	69,13	11,92	7,20	132,72	3,74
03/06/2001	P 13	25	8,30	12,44	71,95	12,01	8,40	51,88	4,70	18,16	5,11	17	0,14	217,42	50,08	7,29	0,88	125,12	2,65
16/06/2001	P 14	10	10,90	27,62	96,25	41,47	7,90	27,04	9,00	26,81	8,04	110	s,d	235,22	161,89	14,72	2,03	36,93	3,07
22/06/2001	P 15	7,5	5,40	6,55	65,94	14,27	3,63	13,69	1,83	10,27	4,05	17	s,d	121,39	37,19	4,66	1,01	106,19	3,59
02/07/2001	P 16	16	4,50	3,20	8,29	11,16	1,98	5,28	1,43	6,75	1,78	0	s,d	37,16	11,75	1,56	0,65	103,90	2,23
20/07/2001	P 17	7	9,00	17,27	194,62	39,07	6,59	20,28	6,80	12,06	4,09	54	0,08	304,71	81,03	11,15	3,70	115,97	2,54
09/09/2001	P 18	16	9,10	23,54	40,42	69,34	19,98	42,06	12,32	14,68	4,14	33	0,08	257,38	68,28	9,98	1,11	116,14	1,91
16/09/2001	P 19	12	3,80	6,82	10,81	8,84	1,90	10,07	1,89	5,71	2,12	7	s,d	50,41	18,84	2,20	0,84	91,16	3,62
20/09/2001	P 20	4,3	4,10	14,61	52,56	14,87	3,51	17,98	4,11	15,46	1,47	15	s,d	125,01	37,51	4,83	1,31	107,68	3,56
30/09/2001	P 21	11	2,40	1,80	2,22	8,89	3,21	9,96	0,71	2,98	0,52	6	s,d	39,25	11,86	1,53	0,68	107,19	2,54
10/10/2001	P 22	47	2,00	2,83	5,15	5,28	1,64	7,65	0,77	2,30	0,56	177	s,d	31,83	181,19	11,73	0,50	-140,23	3,69
14/10/2001	P 23	70	2,80	2,31	1,12	2,28	0,75	6,67	0,57	2,59	0,56	7	s,d	20,55	11,27	1,11	0,55	58,38	4,08
17/10/2001	P 24	6,5	4,10	12,13	49,21	16,07	4,39	17,40	3,72	4,93	2,35	23	s,d	120,99	36,34	4,66	0,77	107,61	3,26
27/10/2001	P 25	15	5,40	12,88	37,89	14,35	5,15	20,90	3,49	8,95	6,64	12	0,10	117,21	37,73	4,64	0,88	102,60	3,70
01/11/2001	P 26	5	4,30	12,47	42,07	16,09	4,41	16,55	3,69	10,13	4,26	2	s,d	112,56	24,34	3,73	1,10	128,87	3,38
09/11/2001	P 27	30	5,30	13,06	40,69	16,31	4,34	19,60	3,82	10,11	4,29	15	s,d	117,93	37,52	4,65	1,14	103,45	3,41
Min			2,00	1,80	1,12	2,28	0,75	3,60	0,57	2,30	0,52	0	0,00	20,55	11,27	1,11	0,50	-140,23	0,82
Moya			6,23	14,07	39,98	21,81	7,42	24,81	4,90	10,41	3,20	29	0,16	140,36	51,05	6,04	1,50	76,17	2,99
Moyp			5,67	11,23	32,94	18,67	6,49	21,23	4,02	8,63	2,89	36	0,58	118,30	54,06	5,76	1,21	56,27	3,09
E.T			3,33	15,44	47,78	23,17	8,78	22,67	5,23	5,79	2,05	37	0,16	122,30	39,65	3,99	1,35	72,45	1,31
Max			17,60	67,30	194,62	88,73	37,57	84,01	22,38	26,81	8,21	177	0,60	527,54	181,19	14,72	7,20	162,52	7,83
Flux				0,36	0,83	1,02	0,22	1,19	0,20	0,75	0,39	3	0,71	0,17	0,08	8,09	1,70		

BI: Balance Ionique  
 COD:Carbone Organique Dissous  
 TZ<sup>+</sup>: somme des cations  
 TZ<sup>-</sup>: somme des anions  
 CE: Conductivité Electrique  
 TDS: Total Dissolved Salt  
 Moy. p: Moyenne pondérée par les hauteurs de pluies  
 Moy. a: Moyenne arithmétique  
 s,d: inférieure à la limite de détection

dans le bassin de la Ngoko, ceux de Lacaux *et al.* (6) à Dimonika et Boyélé, et de Freyrier *et al.* (2) à Kollo. Cependant, elles sont supérieures à celles observées à Bangui et Lamto par Freyrier *et al.* (3). La moyenne des équivalents anions (TZ<sup>-</sup>) est de 54 µéq/l. Les nitrates et les bicarbonates sont les anions dominants (41% de TZ<sup>-</sup>), suivis par le chlore et les sulfates en proportions équivalentes (9%).

La matière organique, représentée ici par le COD a de faibles teneurs. La moyenne pondérée par les hauteurs de pluies est de 1,21 mg/l; elle est supérieure à celle obtenue par Ndam (10) pour les dépôts totaux qui était de 0,45 mg/l.

La concentration moyenne pondérée en silice est faible (0,58 mg/l), mais supérieure à celle des pluies de Barombi-mbo (0,25 mg/l) et du bassin de la Ngoko (0,23 mg/l) (13).

La moyenne pondérée par les hauteurs de pluies de la charge dissoute minérale totale représentée par la TDS (total dissolved salt) est de 5,76 mg/l. Elle est du même ordre de grandeur que celle des dépôts totaux (DT)

des bassins de la Ngoko (TDS= 6,30 mg/l) selon Sigha (13). Elle est supérieure à la moyenne caractéristique des TDS des eaux de pluies des régions tropicales, estimée à 3,60 mg/l (9). La silice représente 10% de la charge dissoute minérale. On peut dire que les eaux de pluies de Nsimi pendant l'année hydrologique 2001/2002 sont pauvres en silice et en COD, mais riches en TDS. La balance ionique est dans la plupart de cas supérieur à 10%. Ceci est sans doute dû à la forte majorité de déficit anionique.

Pour une analyse des relations inter-élémentaires dans les pluies de Nsimi, des corrélations ont été faites entre différents éléments afin d'en déduire leurs origines. Les éléments présentant des corrélations assez significatives ( $r > 0,70$ ) sont représentés dans la figure 1. Les fortes corrélations entre les couples Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup>/Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>/Mg<sup>2+</sup> et Ca<sup>2+</sup>/Cl<sup>-</sup> mettent en évidence l'origine marine de ces éléments. L'origine biogénique forestière est représentée par la corrélation entre les éléments Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup>. Le résultat significatif entre le potassium et le chlore indique des comportements

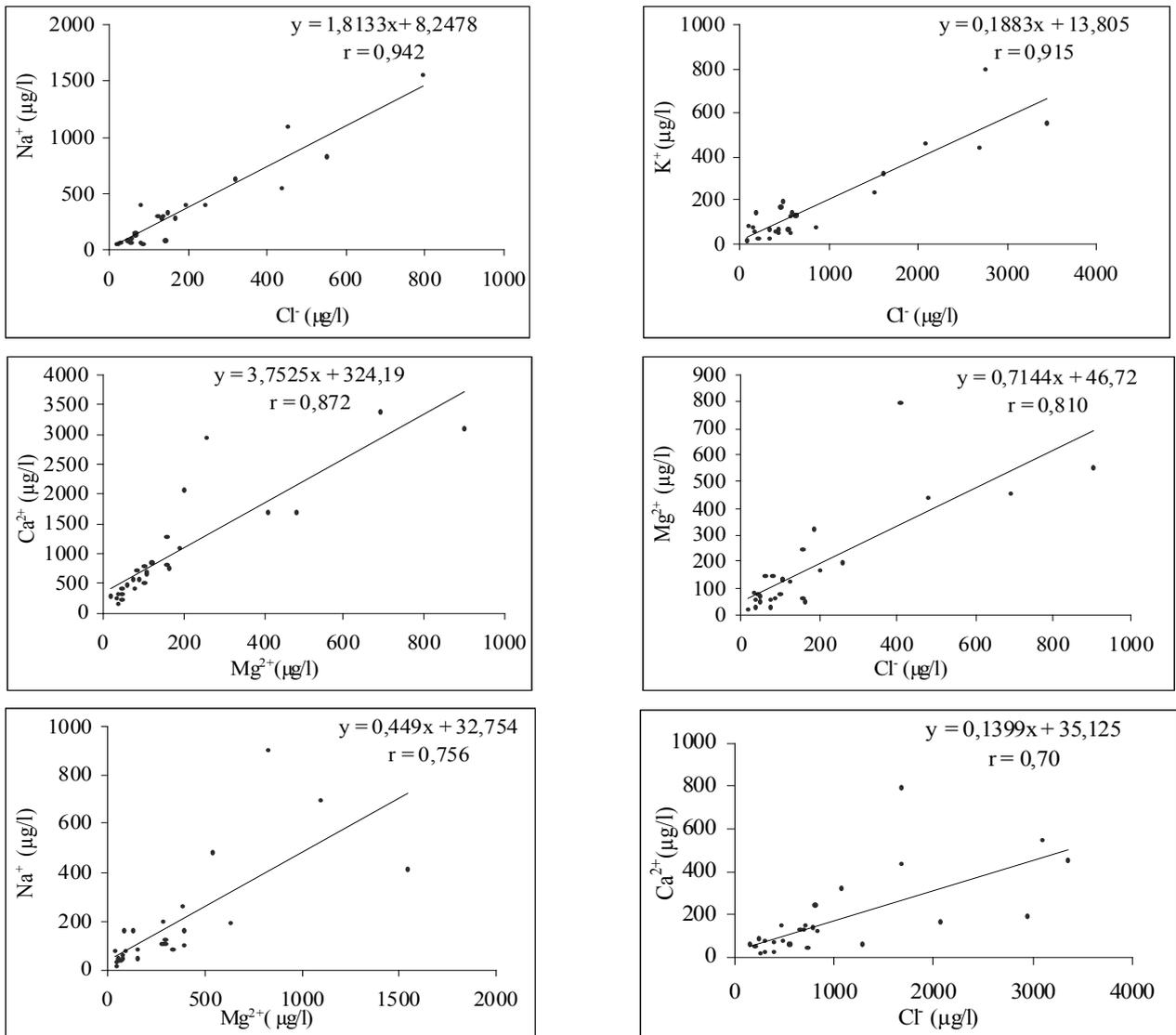


Figure 1: Relations inter-élémentaires dans les pluies de Nsimi.

similaires lors des processus de «wash-out» ou «rain-out» (capture des particules au sein ou sous les nuages) entre ces deux éléments. L'origine marine de ces éléments peut être expliquée par les flux de mousson qui transportent les aérosols marins vers le continent.

Compte tenu de la faible teneur en COD dans les précipitations de Nsimi en 2001/2002, on peut dire que l'alcalinité que nous avons titrée par la méthode de Gran est essentiellement constituée de bicarbonates. Le carbone organique dissout a une origine biogénique forestière (recyclage de la végétation). Une autre origine non négligeable serait anthropique (feux de brousses). Comme le COD, la silice a également une origine biogénique forestière. L'origine anthropique (feux de brousse) n'est pas négligeable.

L'analyse des flux spécifiques de matières dans les eaux pluviales de Nsimi peut permettre de donner un ordre de grandeur des apports atmosphériques et est d'une grande utilité pour l'estimation des bilans d'altération chimique actuelle. En considérant les apports par espèces chimiques (Tableau 1), on s'aperçoit que dans l'ensemble, les bicarbonates ont une forte valeur ( $3 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ). Le carbone organique

dissout ( $1,70 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ), le calcium ( $1,19 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ), le potassium ( $1,02 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ) ont des valeurs moyennes. L'ammoniac, les nitrates, les sulfates, le sodium, le magnésium et le chlore ont des valeurs faibles. La silice a de très faibles teneurs ( $0,07 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ). Comparé aux flux spécifiques obtenus par Ndam (10) concernant les dépôts humides, on constate qu'exception faite des nitrates et sulfates qui ont des valeurs comparables ( $0,75$  et  $0,39 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$  en 2001 et  $0,74$ ;  $0,30 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$ ), les ions obtenus en 2001/2002 ont des flux spécifiques beaucoup plus élevés. On peut retenir que les flux en cations de cette année d'étude sont très élevés, alors que ceux des anions sont comparables aux flux obtenus par Ndam (10).

Jusqu'à présent, l'origine du déséquilibre de la balance ionique reste complexe. Dans un premier temps, il a été montré que le déséquilibre pourrait être dû à l'absence des données sur les acides acétiques et formiques (5). Mais Freyrier (2) a montré que la prise en compte de ces acides ne suffit pas pour obtenir les balances de charges équilibrées. La balance ionique non équilibrée peut s'expliquer par la présence des acides organiques différents des acides acétiques et formiques. Dans ce cas l'analyse du carbone organique total (COT) pourrait résoudre ce problème.

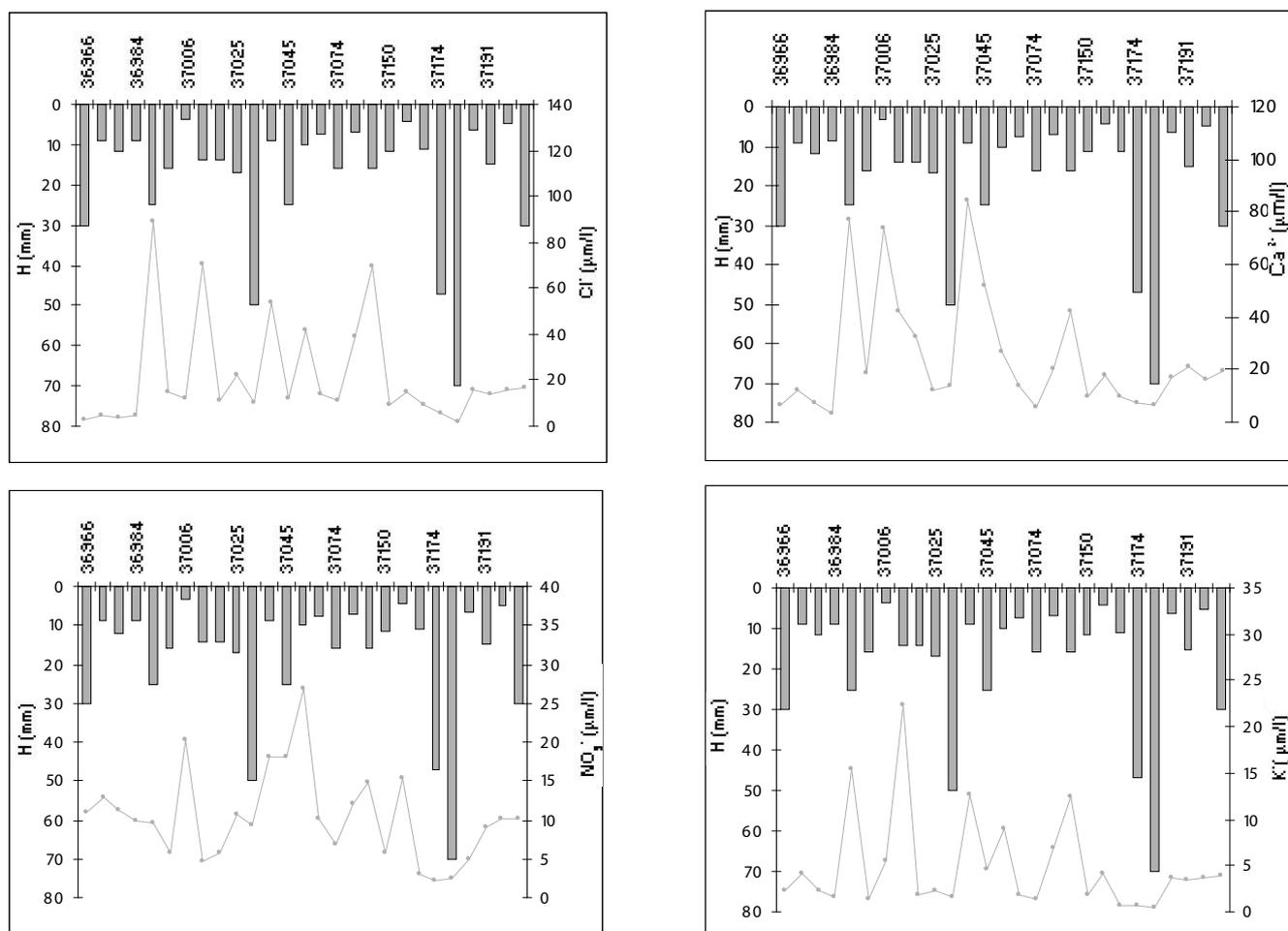


Figure 2: Variations temporelles des teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^{2-}$  dans les pluies du BVE de Nsimi.

**Variations saisonnières des éléments dans les pluies de Nsimi**

Pour discuter des variations temporelles des eaux de pluies, un élément représentatif pour chaque source naturelle est choisi: Cl<sup>-</sup> pour la source marine, Ca<sup>2+</sup> pour la source continentale (poussières éoliennes), K<sup>+</sup> pour la source biogénique et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pour la source anthropique. Les variations issues de ces concentrations sont présentées sur la figure 2.

Les concentrations de Cl<sup>-</sup> sont peu représentées en début de la petite saison de pluies (mars) et en fin de la grande saison des pluies (octobre à décembre). Elles sont élevées vers la fin de la petite saison des pluies (fin mai/début juin) et en début de la grande saison des pluies (septembre). Cette variation est comparable à celle observée par Yoboué (16) à Lamto. Les flux de mousson qui transportent les aérosols marins vers le continent sont à l'origine de cette variation saisonnière de concentration du Cl<sup>-</sup>.

Les teneurs en Ca<sup>2+</sup> sont faibles en début de la petite saison des pluies (mars) et pendant la grande saison des pluies. Elles sont élevées pendant les mois d'avril et juin (petite saison des pluies). Ces variations sont comparables à celles obtenues par Sigha (13) sur le bassin versant de la Ngoko. Elles peuvent être imputées aux poussières minérales transportées pendant les saisons sèches et mélangées à celles accumulées sur la voûte forestière.

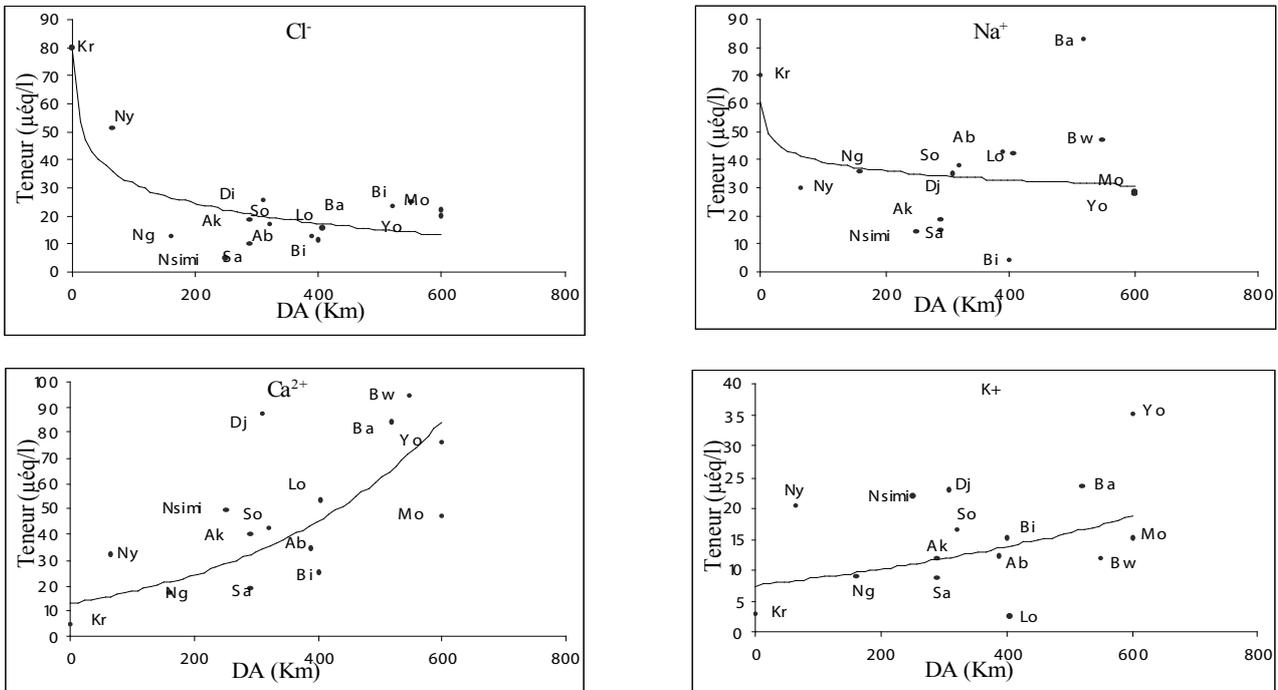
Les teneurs en K<sup>+</sup> sont variables durant toute l'année. Elles sont faibles en début de la petite saison de

pluies et en fin de grande saison de pluies (octobre, novembre). Elles sont élevées pendant les mois d'avril et juin (petite saison des pluies) et en début de la grande saison des pluies (septembre). Elles sont comparables à celles observées à Bangui et Lamto (2). La présence de potassium en quantité importante serait liée aux poussières minérales provenant de la combustion de la biomasse.

Les teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ne sont pas très variables durant toute l'année. Cependant, on observe une tendance aux fortes teneurs en fin de la petite saison de pluies (juin) et de faibles teneurs en octobre. Elles sont comparables à celles observées à Lamto (16). Les saisons sèches étant identifiées comme périodes de fortes combustions de biomasse, on peut penser que les fortes teneurs en nitrates à la fin de la petite saison des pluies correspondent à une remobilisation d'aérosols de tout type par les feux de brousse.

**Tentative d'extrapolation des variations des teneurs en éléments à l'échelle du plateau Sud Camerounais**

La figure 3 permet de constater que les résultats des analyses chimiques obtenus sur les eaux de pluies de Nsimi en 2001/2002 se situent dans une même gamme de valeurs que ceux collectés par Sigha *et al.* (13) dans plusieurs régions du Sud Cameroun. C'est ainsi qu'on note une décroissance des teneurs en ions chlorures et sodium en fonction de l'éloignement de la mer. Cette décroissance confirme leur origine marine



Ab: Abong-Mbang, Ak: Akonolinga, Ba: Batouri, Bi: Bi, Bw: Biwala, Dj: Djoum, Lo: Lomié, Kr: Kribi, Mo: Moloundou, Ng: Ngoazik, Ny: Nyabessan, So: Somalomo, Sa: Sangmélina, Yo: Yokadouma, DA (km): Distance à l'Atlantique en km.

Figure 3: Evolution des teneurs en éléments des précipitations en fonction de la distance à la mer (13 modifié).

dans les eaux pluviales analysées. On peut cependant, noter une dispersion des valeurs du sodium à partir de 200 km, avec des teneurs relativement élevées. Ceci peut être imputé aux apports supplémentaires dus aux poussières éoliennes dans le continent.

A l'inverse des chlorures et du sodium, les teneurs en calcium et potassium augmentent de façon exponentielle de l'ouest à l'est. Ce qui indique un enrichissement en apport d'origine continentale (poussières éoliennes), des émissions biogéniques et de la combustion de la biomasse. Nous pouvons alors conclure que l'origine du calcium et du potassium dans les précipitations est majoritairement continentale.

## Conclusion

Afin de mener à bien l'étude sur la connaissance physico-chimique des pluies du Plateau sud camerounais, l'étude physico-chimique des eaux a été conduite dans le BVE de Nsimi et comparées aux données disponibles dans le Sud Cameroun en particulier, et l'Afrique en général. Le chimisme des eaux pluviales permet de décélérer

des apports atmosphériques en quantité relativement importante sous forme soluble à Nsimi en 2001/2002. Elles sont supérieures à celles antérieurement obtenues dans la même localité, sans doute à cause du déficit pluviométrique observé durant cette année. Une analyse des relations inter-élémentaires a permis de mettre en évidence l'existence de trois sources importantes (continentale, biogénique et la combustion de la biomasse) et des sources annexes (marine, anthropique) de production d'éléments contenus dans les pluies de Nsimi.

Des aérosols terrigènes, marins et anthropiques se déposent sur la végétation et sont mobilisés lors de la combustion de la biomasse. Pendant la saison sèche et en début de la grande saison des pluies, les concentrations des eaux de pluies sont donc très élevées pour toutes les espèces chimiques. L'aspect qualitatif des pluies du plateau sud camerounais (pluies acides, teneur élevée des éléments) est susceptible d'entraîner directement des perturbations au niveau de la production agricole. Ces aspects nécessitent donc une attention particulière en gestion de sols et de la productivité agricole.

## Références bibliographiques

- Braun J.J., Dupré B., Viers J., Ndam J.R., Bedimo J.P., Sigha L., Freydier R., Robain H., Nyeck B., Bodin J., Oliva P., Boegling J.P., Stemmler & Berthelin J., 2002, Biogeochemical dynamics in the forested humid tropical environment: the case study of the Nsimi small experimental watershed (south Cameroun). *Bull. Soc. géol. France*, **173**, 4, 347-357.
- Freydier R., 1997, Chimie des précipitations en Afrique intertropicale: cations et anions majeurs, éléments traces et acides organiques. Th. Doct. Univ. P S, Toulouse, France. 235 p.
- Freydier R., Dupré B., Dandurand J.L., Fortune J.P. & Sigha Nkamdjou L., 2002, Trace elements and major species in precipitation at Africa Stations: concentrations and sources. *Bull. Soc. Géol. France*, **173**, 2, 129-146.
- Gaillardet J., Dupré B. & Allegre C.J., 1995, A global geochemical mass budget model applied to the Congo basin rivers. Erosion rates and composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 3469-3485.
- Galloway J.N., Likens G.E., Keene W.C. & Miller J.M., 1982, The composition of precipitation in the remote areas of the world. *J. Geophys. Res.* **87**, 8771-8786.
- Lacaux J.P., Loemba-Ndembi J., Lefeuvre B., Cros B. & Delmas R., 1992 b, Biogenic emissions and biomass burning influences on the chemistry of the fogwater and stratiform precipitations in the african equatorial forest. *Atmos. Environ.* **26**, A(4), 541-551.
- Lodge J.P., Pate J.B., Basbergill W., Swanson G.S., Hill K.C., Lorange E. & Lazrus A.L., 1968, Final report on the National Precipitation Network. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado.
- Maurizot P., Abessolo A., Feybesse J.L., Johan & Lecomte P., 1985, Etude et prospection minière du Sud-Ouest Cameroun. Synthèse des travaux de 1978 à 1985. *Rapp. BRGM*, **85**, CMR 066, 274 p.
- Meybeck M., 1984, Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse de. Doc. d'Etat, Univ. P & M. Curie, Paris. VI, 437 p.
- Ndam Ngoupayou J.-R., 1997, Bilans hydrogéochimiques sous forêt tropicale humide en Afrique: du bassin expérimental de Nsimi-Zoétélé aux réseaux hydrographiques du Nyong et de la Sanaga. Thèse Doct. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 213 p.
- Nyeck B., Bilong P., Moukam A. & Eno Belinga S.M., 1999, Mise au point d'un modèle de cartographie et de classification des sols en zone forestière intertropicale du Cameroun. Cas des sols du plateau forestier humide de Zoétélé. In: Vicat J.P. et Bilon P. éd., collect. GEOCAM, 2/1999, press. Univ. Yaoundé, pp. 171-180.
- Santoir & Bopda A., 1995, Atlas régional du Sud Cameroun. Ed ORSTOM-MIRES Cameroun, 52 p.
- Sigha Nkamdjou L., 1993, Fonctionnement hydrochimique d'un écosystème forestier de l'Afrique Centrale: La Ngoko à Moloundou (Sud-Est du Cameroun): Th. Doc. Univ. Paris XI.
- Sigha Nkamdjou L., Galy-Lacaux C., Pont V., Richard S., Sighomnou D. & Lacaux J.P., 2003, Rainwater chemistry and wet deposition over the Equatorial forested ecosystem of Zoétélé (Cameroon), *Journal of Atmospheric Chemistry*, pp. 173-198.
- Viers J., Dupré B., Braun J.J., Freydier R., Ndam J.R. & Sigha L., 2001, Evidence of non conservative behaviour of chlorine in humid tropical environments. *Aquatic Geochem.* **7**, 2, 127-154.
- Yoboué V., 1991, Caractéristiques physiques et chimiques des aérosols et des pluies collectées dans la savane humide de Côte d'Ivoire. Thèse Doc. Univ. P. S. Toulouse, 145 p.

Yvette Clarisse Mfopou Mewouo, Camerounaise, Titulaire d'une DEA en Sciences Géotechniques et hydrotechniques; spécialité Sciences de l'Eau et de l'Environnement. Technicienne au Laboratoire des Sols, Eaux, Plantes et Engrais du Programme Sol, Eau et Atmosphère de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) Email: mfopou2001@yahoo.com

J.R. Ndam Ngoupayou, Camerounais, Titulaire du Doctorat Nouveau Régime de l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC -Paris VI) en France. Spécialité: Hydrologie, hydrogéologie, géochimie des eaux et géostatistiques. Chargé de Cours à l'Université de Yaoundé, Faculté des Sciences, Coordinateur des Sciences de l'eau au Laboratoire des Sciences géotechniques et hydrotechniques du Département des Sciences de la Terre.

M. Yemefack, Camerounais, Titulaire du PhD en évaluation quantifiée des terres et des ressources environnementales, SIG et modélisation spatiale obtenu à l'ITC Enschede aux Pays-Bas. Maître de Recherche au Programme Sols-Eaux-Atmosphère de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD). Email: myemefack@yahoo.fr.

V. Agoumé, Camerounais, Titulaire d'un MSc en Fertilité des Sols et Nutrition des Plantes, obtenu à l'Université Agricole de Wageningen aux Pays-Bas. Chargé de Recherche au Programme Sols-Eaux-Atmosphère de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD). Email: vagoume@yahoo.com