

PREMIERS RESULTATS SUR LA COMPOSITION ISOTOPIQUE
DES PRECIPITATIONS DE LA REGION DU MONT CAMEROUN

J. C. OLIVRY

&

J. CH. FONTES

SOMMAIRE

GENERALITES

- 1.1 Aperçu géographique et climatique
- 1.2 Cadre des mesures

ETUDE DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS

- 2.1 Précipitations moyennes
- 2.2 Précipitations en 1972, 1973, 1974

ANALYSES ISOTOPIQUES DES PRECIPITATIONS

- 3.1 Généralités
- 3.2 Les Résultats
- 3.3 Relation entre les teneurs annuelles en oxygène 18 et l'altitude
 - 331 Etude des corrélations
 - 332 Le gradient
 - 333 Variations de l'Ordonnée à l'origine
- 34 Relation entre $\delta^{18}O$ et les températures
 - 341 Détermination des données climatiques
 - 342 $\delta^{18}O$ et température moyenne de l'atmosphère
 - 343 $\delta^{18}O$ et température du Point de Rosée
- 35 Variations de δ^2H
- 36 Relation entre $\delta^{18}O$ et δ^2H
- 3.7 Critique des résultats
- 3.8 Conclusions

BIBLIOGRAPHIE

1 GENERALITES

1.1 APERCU GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

Situé au fond du Golfe de Guinée, et plus précisément du golfe de BIAFRA, le Mont CAMEROUN, ou FAKO, élève sa masse volcanique imposante à plus de 4000 m au-dessus de la mer. Il est le dernier témoin continental de la grande ligne de fracture appelée "ligne du Cameroun" qui a donné naissance à la Dorsale Camerounaise (Adamaoua, M^{ts} de Bamenda etc...) et se prolonge dans l'océan Atlantique par les îles de FERNANDO PO, PRINCIPE, SAO THOME et ANNOBON.

Dans l'axe des vents dominants (w S w), cet obstacle orographique vigoureux s'oppose tel un butoir à la progression de la mousson et est responsable de contrastes locaux particulièrement importants dans la distribution spatiale des précipitations. Ainsi sur le versant maritime certaines stations côtières reçoivent des hauteurs annuelles de précipitations comparables aux records mondiaux de TCHERAPUNDJI, des îles HAWAII et de REUNION^{la}, tandis que le versant ENE abrité est beaucoup moins arrosé.

La hauteur moyenne annuelle des précipitations passe de près de 10 m à DEBUNDSCHA sur la côte à moins de 2 m à Meanja 40 km à l'intérieur.

En dépit de cette disparité, la répartition mensuelle des précipitations est assez peu différente en valeurs relatives, et correspond au climat de type équatorial côtier propre à la région de Douala.

La position géographique du Mont Cameroun, à la limite méridionale des déplacements du Front Intertropical (FIT) entraîne par ailleurs de forts contrastes dans la distribution, dans le temps des précipitations avec l'altitude.

On sait que la masse d'air humide s'enfonce en biseau aigu sous la masse d'air sec et que le FIT correspond à un plan incliné par rapport à l'horizontale. Si^{la} limite la plus méridionale de la trace au

sol du FIT reste au Nord du Mont Cameroun, on retrouve en altitude le domaine de l'Harmattan pendant une bonne partie de l'année alors que la mousson se manifeste dans le même temps par des précipitations importantes sur la côte.

Le Mont Cameroun présente sur une verticale en altitude, le raccourci des variations climatiques que l'on observe en latitude.

La limite supérieure de la forêt, vers 2500 m, est assez significative du passage du climat équatorial au climat tropical d'altitude dont la saison sèche pourrait durer de 5 à 6 mois.

L'absence de précipitations en altitude pendant plusieurs mois se traduit d'ailleurs dans le régime hydrologique de petits fleuves côtiers, tel la SANSE, par la persistance de basses eaux jusqu'au mois de Juin.

1.2 CADRE DES MESURES

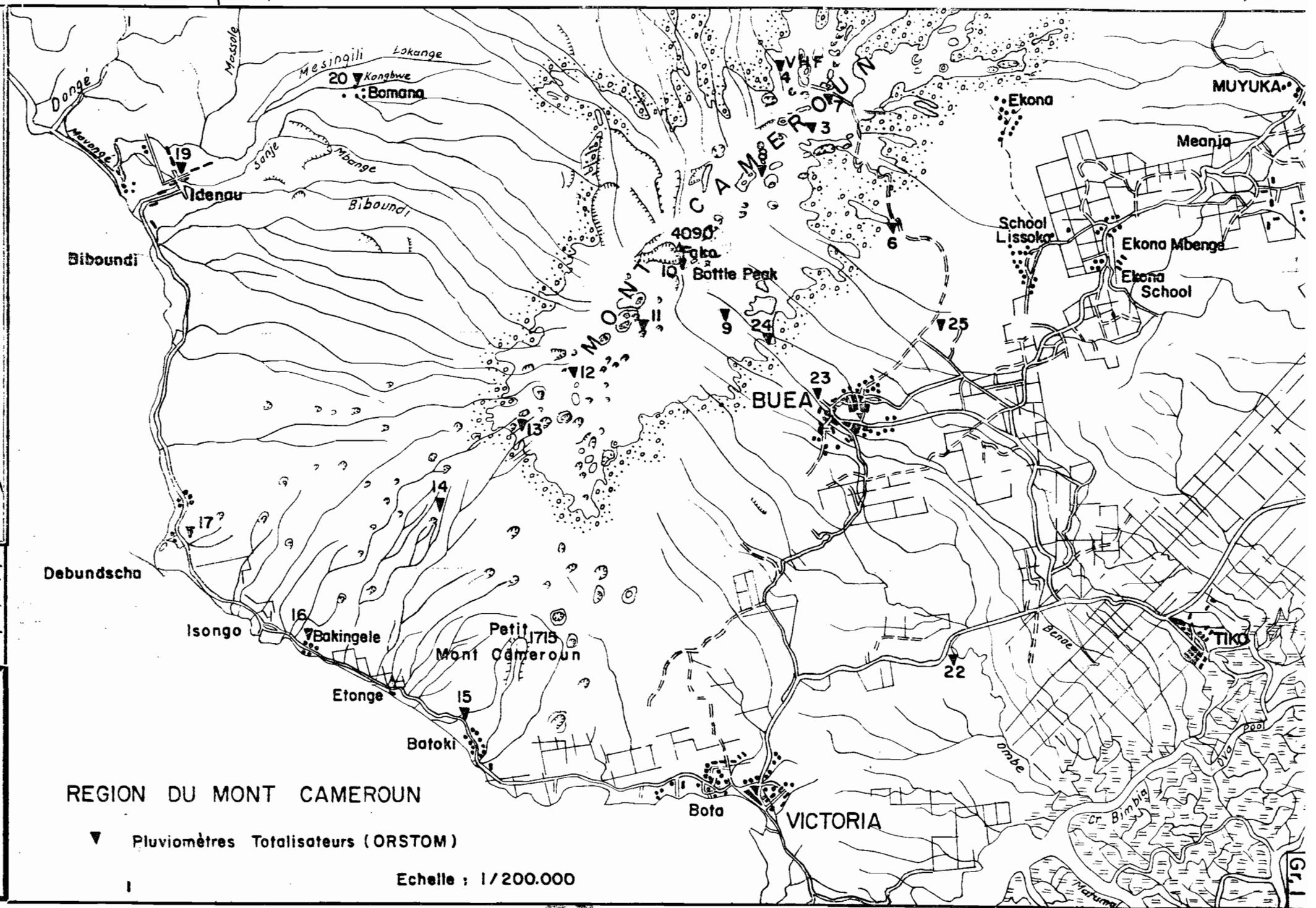
La mise en valeur ancienne des pentes inférieures du Mont Cameroun (plantations d'hévéa, palmeraie) a permis un équipement pluviométrique d'une densité assez forte (notamment au Sud et à l'Est) entre 0 et 900 m d'altitude. Plus en altitude, on ne disposait d'aucune observation susceptible de préciser la forme des variations de la pluviométrie. Aussi, depuis 1966, l'ORSTOM s'est attaché à combler cette lacune en mettant en service une vingtaine de pluviomètres totalisateurs étagés en altitude sur les versants Nord-Est et Sud-Ouest (voir carte 1). Du fait des difficultés d'accès, les mesures ne sont effectuées qu'une fois par an. Les précipitations recueillies dans des fûts de 200 l sont protégées de l'évaporation par une couche d'huile renouvelée chaque année.

L'altitude des différentes stations a été déterminée d'après les cartes I G N au 1/50 000 et contrôlée par mesures barométriques. L'erreur de positionnement en altitude n'excède pas 5 m.

L'aspect de la pluviométrie dans la région du Mont Cameroun a

date
des

6/50



Gr 1

fait l'objet d'une première étude (R. LEFEVRE) qui doit être reprise à l'issue de 10 années d'observations.

Des mesures pluviométriques sont complétées depuis 1972 par des prélèvements d'échantillons d'eau de pluie qui sont effectués à chaque station au moment de la tournée annuelle de mesures. Les échantillons, conservés dans des flacons en polyéthylène de 60 ml, sont envoyés pour analyse des teneurs en isotopes lourds au laboratoire de Géologie Dynamique de l'Université de Paris VI.

L'étude des variations de la composition isotopique des précipitations 1972, 1973 et 1974 qui fait l'objet de cette note implique tout d'abord de replacer brièvement la pluviosité de ces trois années dans le contexte général de la pluviométrie du Mont Cameroun.

2.1 PRECIPITATIONS MOYENNES

Depuis l'installation des pluviomètres ORSTOM, nous disposons de 8 années complètes d'observations, mais sur 12 postes seulement compte tenu des lacunes sur une ou plusieurs années et d'équipements plus récents. Les moyennes obtenues sont indiquées dans le tableau I.

La comparaison des moyennes calculées sur cette période de 8 ans et la période totale d'observations pour DEBUNDSCHA et IDENAU, stations de longue durée, montre que la pluviosité de ces 8 dernières années a été moins forte que sur l'ensemble de la période d'observation (1)

	Moyenne 8 ans	21 ans	38 ans
Debundscha	9126 mm		9895 mm
Idenau	7786 mm	8515 mm	

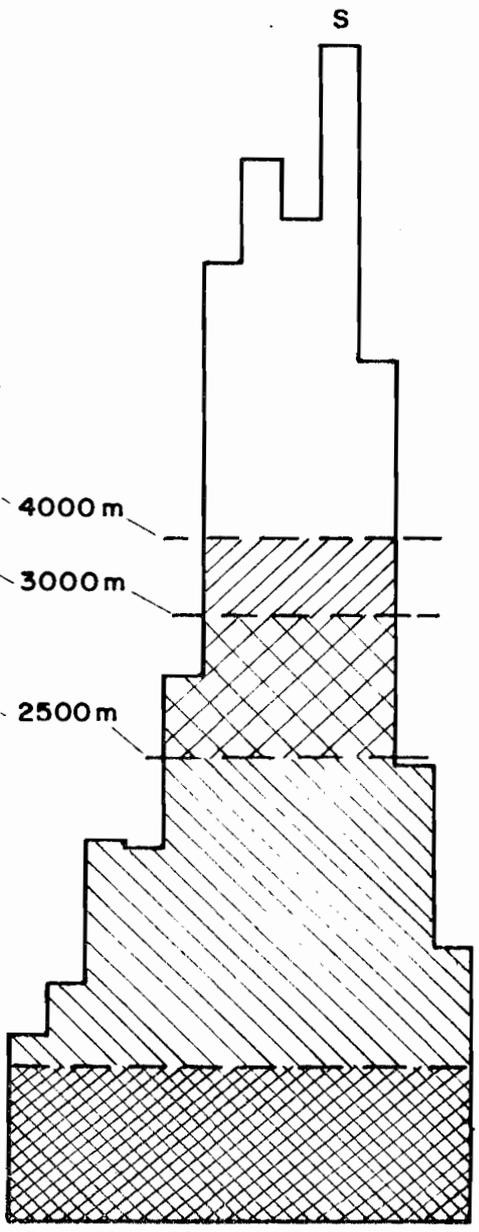
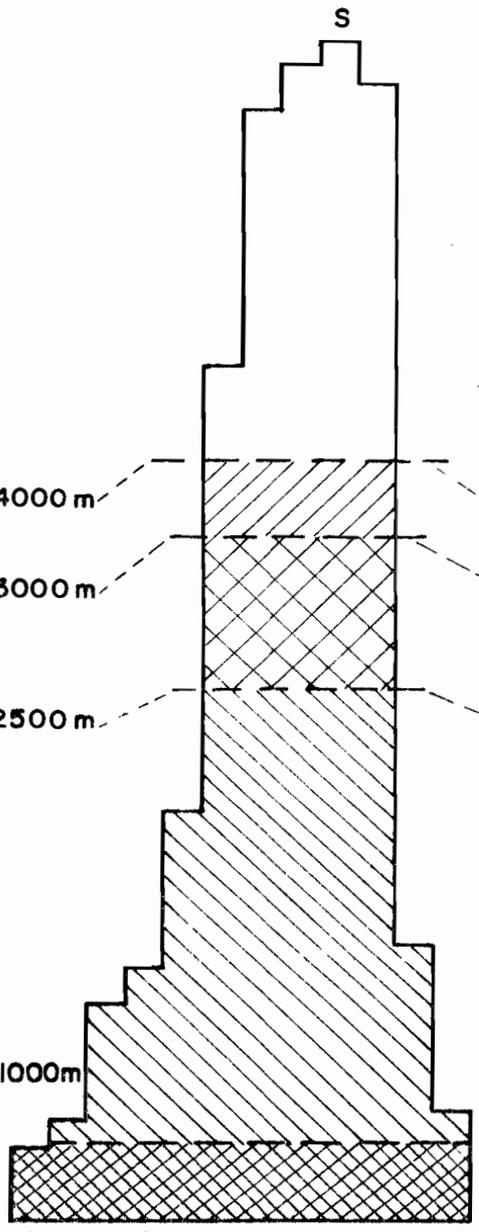
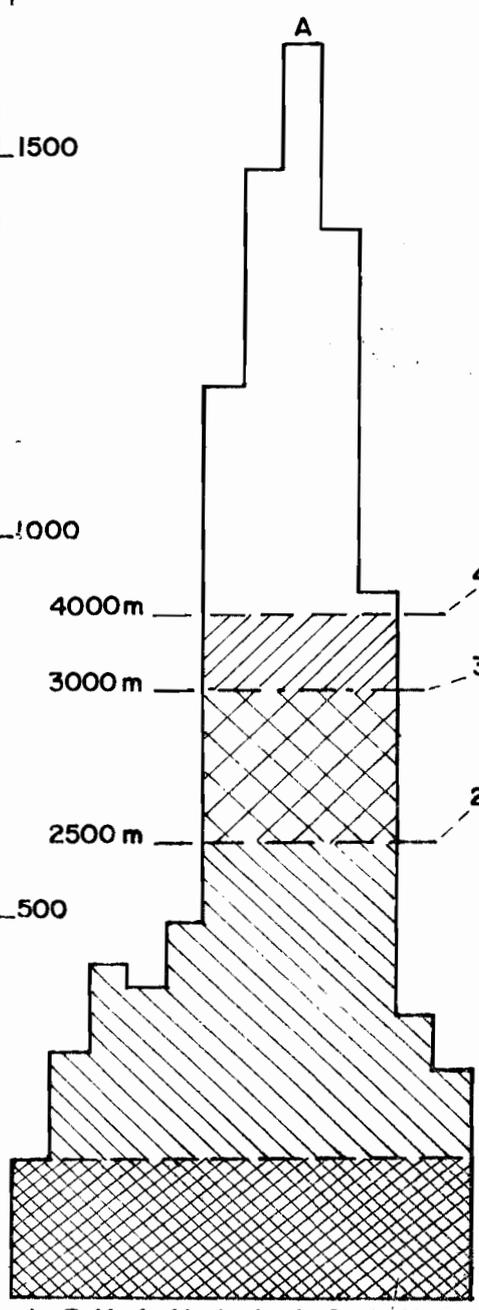
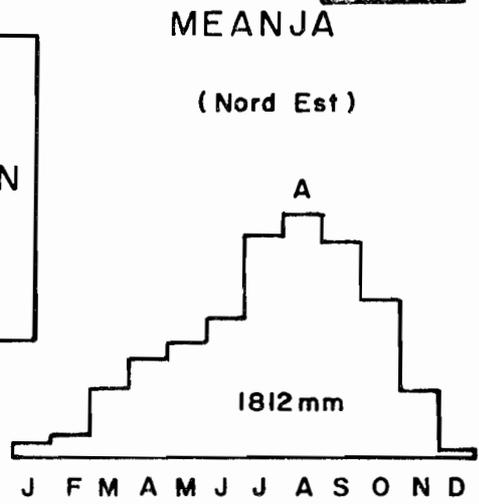
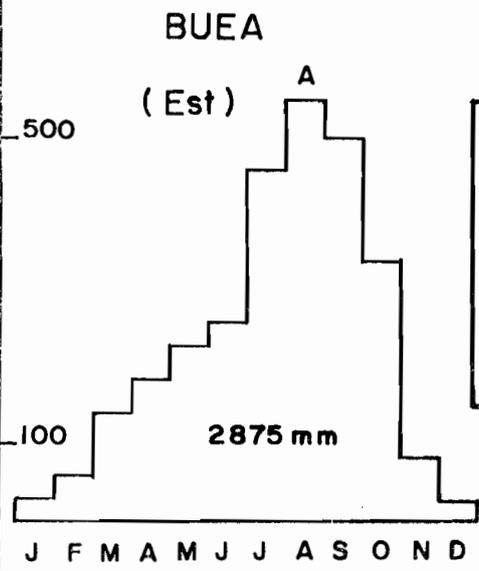
A partir des moyennes obtenues sur les stations d'altitude du versant maritime, nous avons tenté de déduire à partir des histogrammes d'Isongo, Idenau et Debundscha la répartition mensuelle des précipitations à diverses altitudes. Le graphique 2 illustre cette tentative. Les hauteurs de précipitations en altitude sont très probablement liées à l'épaisseur de la mousson et aux pluies abondantes reçues sur la côte.

pour les altitudes 1.000 m 2.500 m 3.000 m et 4.000 m

Les histogrammes déterminés pour différentes altitudes sur le graphique 2 ne constituent cependant qu'une indication relative sur la longueur de la saison des pluies. (Un histogramme donné correspond à la partie supérieure du dessin pour un niveau d'altitude donné). La saison des pluies durerait de 4 à 5 mois au sommet du Mont Cameroun, de 5 à 6 mois vers les 3000 m et de 6 à 7 mois à 2500 m au-dessus de la forêt. A 1000 m d'altitude, la saison des pluies aurait une durée pratiquement équivalente à celle des stations côtières (11 - 12 mois). Ces durées très inégales de la saison des pluies pourraient avoir une incidence sur les variations de la composition isotopique moyenne an-

(1) Laquelle période a connu le maximum absolu observé à Debundscha :
de 14.694 mm en 1919

HISTOGRAMMES
MOYENS DE LA REGION
DU MONT CAMEROUN



STATIONS DE LA FAÇADE MARITIME

TABLEAU

HAUTEURS ANNUELLES DES PRECIPITATIONS

AU MONT CAMEROUN

N° Poste Pluviométrique et Lieudit	Altitude m	MOYENNE calculée sur 8 ans en mm	1972 mm	1973 mm	1974 mm	
Versant Nord	3	2500	-	3315	2735	3050
Station VHF	4	2460	-	2970	2150	2640
Route VHF	6	1610	3448	4070	2850	3175 °
Versant Nord	7	2475	2824	3050	2600	1950 °
Nord	8	3050	2145	2480	1900	2025 °
Hutte 2	9	2925	2602	3120	2310	2725 ✓
Sommet Bottle Peak	10	4050	2150	2540	1875	2150
SW	11	3300	1880	2100	1400	1550 °
Versant SW	12	3000	2515	3030	1830	2475 °
Limite Forêt SW	13	2320	3329	3945	2270	2825 °
Forêt SW	14	1000	7530	7210	4810	8735 ✓
Batoki	15	50	-	6130	4590	5295
Bakingele	16	10	7318	7930	5365	6785 °
Debundsha	17	20	9126	9200	8430	8015 °
Idenau	19	30	7786	7915	6870	7530 °
Bomana	20	460	-	5525	5050	-
Brasseries	22	180	-	4455	1990	2700
UPPER Farm	23	1100	-	3730	2210	2725
Limite Forêt BUEA	24	2500	-	3800	2680	3075
Bonakanda	25	860	-	3730	2990	3225

nuelle des précipitations.

2.2 PRECIPITATIONS EN 1972, 1973, 1974

Les hauteurs annuelles des précipitations ont été reportées dans le tableau I. La composition des résultats de chaque année à la moyenne annuelle (8 ans pour 12 postes) montre que les précipitations ont été excédentaires pour chaque station en 1972, très déficitaires pour chaque station en 1973, et déficitaires pour 9 postes, excédentaires pour ~~4~~² postes en 1974.

La moyenne des précipitations moyennes reçues aux postes est de 4388 mm ; elle est de 4715 mm en 1972 (+ 7,5 %), 3542 mm en 1973 (- 19 %) et de 4161 mm en 1974 (- 5 %).

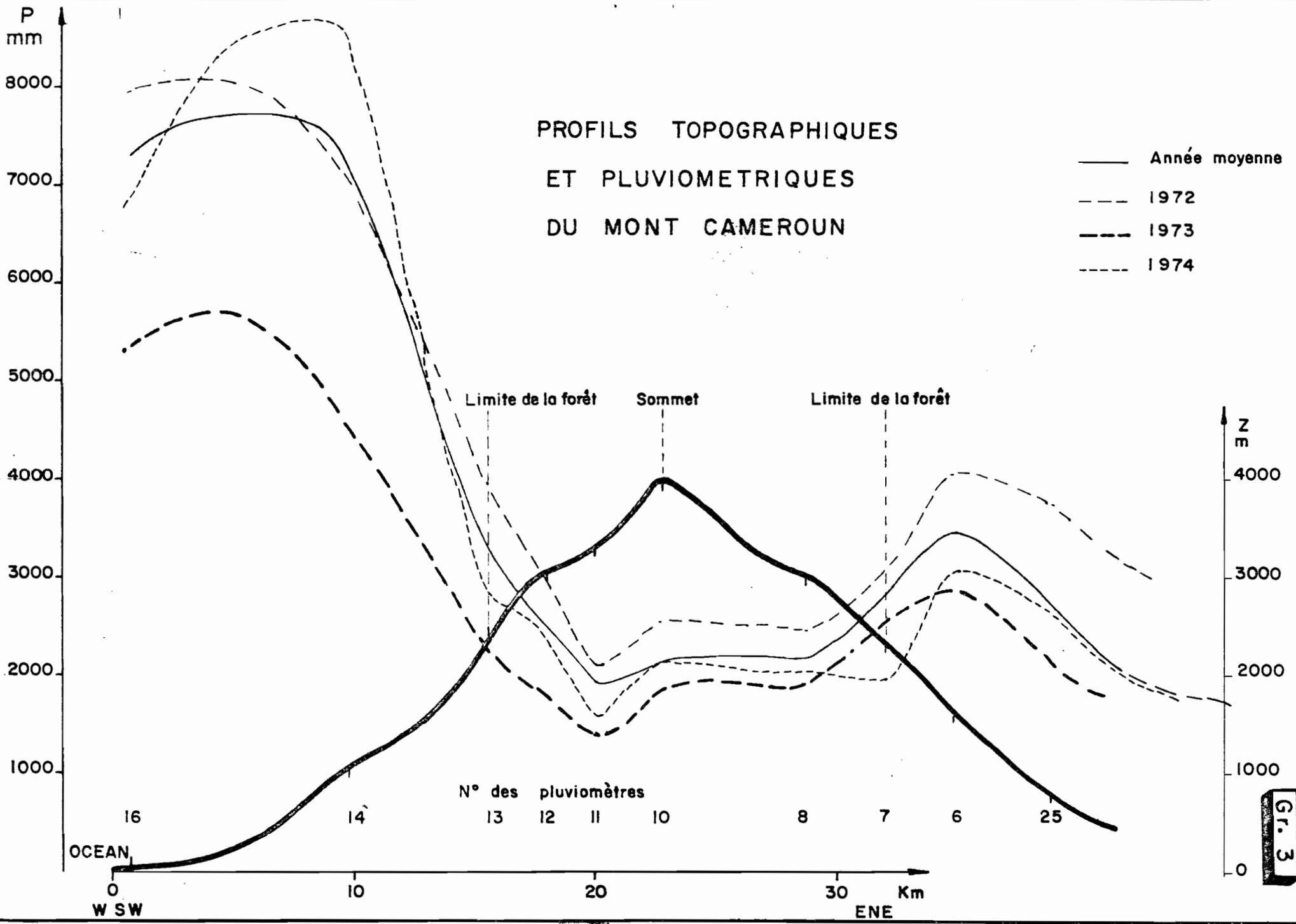
En 1972 et 1973 la sécheresse catastrophique du Sahel s'est manifestée jusqu'à des latitudes très basses puisque les déficits pluviométriques les plus importants au Cameroun en pourcentages ont été observés sur la façade maritime (Douala et Tiko) et la région de l'Ouest. Ces déficits ont d'ailleurs persisté en 1974.

	! Moyenne !	! 1972 !	! 1973 !	! 1974 !
	! Pmm !	! Pmm Ecart% !	! Pmm Ecart% !	! Pmm Ecart % !
Douala	! 4333 !	! 3340 -21,7 !	! 3451 -20,4 !	! 3575 -17,5 % !
Tiko	! 3021 !	! 2622 -13 !	! 2039 -32,5 !	! 2563 -15 % !

Il est donc surprenant de mettre en évidence au Mont Cameroun une assez forte pluviosité en 1972, ~~laquelle pourrait traduire un effet de persistance sélectif de la période humide sur un relief vigoureux.~~

En 1973 les déficits pluviométriques sont rattachés à une faible ampleur de la mousson, encore manifeste en 1974.

Le graphique 3 illustre sur un profil WSW-ENE du Mont Cameroun les variations de la pluviométrie au cours des 3 années et en année moyenne. Il montre l'opposition des versants au vent et sous le vent ainsi que des gradients pluviométriques variables avec l'exposition. Une éventuelle incidence de ces pluviosités très différentes sur la composition isotopique des précipitations d'une année à l'autre n'est pas à écarter.



3.1 GENERALITES

Dans l'hydrosphère la répartition des principaux isotopes constitutifs de la molécule d'eau est en moyenne la suivante :

ISOTOPES		FREQUENCE %
Hydrogène	^1H	99,985
Deuterium	^2H ou D	0,015
Oxygène 16	^{16}O	99,76
Oxygène 18	^{18}O	0,20

La composition isotopique de l'eau peut être modifiée par un changement partiel de phase (condensation à partir d'une masse de vapeur, évaporation à partir d'un liquide)..

Par rapport aux isotopes légers, les isotopes lourds montrent une aptitude plus grande au changement partiel de phase vapeur-liquide et plus faible au changement partiel de phase inverse - aptitudes d'autant plus marquées que la température est basse.

Ainsi dans le cycle de l'eau, la masse de vapeur née de l'eau océanique montre un appauvrissement en isotopes lourds. - Cette masse de vapeur continue de s'appauvrir au cours de stades de condensation successifs ; les précipitations résultantes connaissent un enrichissement relatif en isotopes lourds par rapport à la masse de vapeur qui leur a donné naissance.

Les teneurs en isotopes lourds des précipitations dépendent de l'abaissement de température subi par la masse de vapeur saturante depuis sa formation jusqu'au lieu de collection.

Les précipitations sont isotopiquement tracées en fonction de leur histoire thermique liée en général de façon simple à la température au sol de la région réceptrice.

L'étude isotopique des précipitations du Mont Cameroun devait permettre de préciser leur traçage en altitude.

Les échantillons ont été prélevés une fois par an à partir des précipitations recueillies par les pluviomètres totalisateurs (protégées de l'évaporation par de l'huile) ; ils sont représentatifs de la composition isotopique moyenne de l'année.

Les analyses ont été effectuées par le laboratoire de Géologie Dynamique de l'Université de Paris VI - Les teneurs en $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ont été déterminées par équilibration à 25°C de l'échantillon d'eau avec CO_2 et analyse du gaz carbonique au spectromètre de masse à double collection.

Le rapport isotopique $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de l'échantillon est comparé au rapport d'un standard classique appelé SMOW (Standard Mean Oceanic Water) correspondant à la moyenne d'une série de mesures de l'eau océanique. Les résultats sont exprimés en termes de δ ou parts pour mille de différence relative

$$\delta = \left\{ \frac{^{18}\text{O} / ^{16}\text{O} \text{ Echantillon}}{^{18}\text{O} / ^{16}\text{O} \text{ SMOW}} - 1 \right\} 1000$$

La mesure des teneurs en Deutérium s'exprime de la même manière.

Une eau à δ négatif est appauvrie en isotopes lourds (et vice versa). C'est le cas de la masse de vapeur issue de l'Océan et des précipitations reçues dans la région du Mont Cameroun.

3.2 LES RESULTATS

Les analyses isotopiques des précipitations ont été faites année par année. Certains échantillons ont été répétés à la suite de petits problèmes analytiques qui s'étaient révélés à l'examen des premiers spectres.

Les teneurs en Deutérium ont été mesurées après mise au point d'une technique analytique propre à cet isotope.

Trois analyses (3, 7 et 8) des précipitations 1974 devront être répétées ayant été exécutées en période d'instabilité.

L'analyse de la source de Man à 2500 m d'altitude de 1972 n'a pas été retenue ($\delta^{18}\text{O} = -4,27$), l'eau ayant de toute évidence subi

TABLEAU

PRECIPITATIONS DU MONT CAMEROUN

ANALYSES ISOTOPIQUES

N° Poste Pluviométrique et Lieudit	Altitude	1972		1973		1974
		$\delta^{18}O$	δ^2H	$\delta^{18}O$	δ^2H	
	3	2500	- 6,59	- 44,6	- 7,44	(- 7,24)
Station VHF	4	2460	- 6,38		- 6,99	- 46,5
Route VHF	6	1610	- 5,74	- 34,7	- 5,98	- 5,75
	7	2475	- 6,25		- 6,56	(- 5,91)
	8	3050	- 7,53		- 8,28	(- 8,33)
Hutte 2	9	2925	- 7,57	- 49,6	- 7,50	- 7,93
Sommet Bottle Peak	10	4050	- 8,89	- 61,1	- 9,77	- 68,0
	11	3300	- 8,44	- 59,2	- 8,98	- 62,6
Versant SW	12	3000	- 7,38		- 8,22	- 55,4
Limite Forêt SW	13	2320	- 6,13		- 6,92	- 8,61
Forêt SW	14	1000	- 3,62	- 22,8	- 4,86	- 4,25
Batoki	15	50	- 2,45		- 2,92	- 3,28
Bakingele	16	10	- 2,41	- 12,4	- 2,93	- 17,5
Debundsha	17	20	- 2,61		- 3,09	- 3,67
Idenau	19	30	- 3,02		- 3,59	- 25,4
Bomana	20	460	- 3,58		- 3,94	- 4,05
Brasseries	22	180	- 3,26		- 3,61	- 24,1
UPPER Farm	23	1100	- 4,39	- 26,2	- 4,94	- 29,2
Limite Forêt Buea	24	2500	- 6,25	- 36,3	- 6,29	- 43,1
Bonakanda	25	860	- 4,19		- 4,73	- 4,86

une évaporation importante.

La quasi absence de sources étagées en altitude n'a pas permis d'envisager d'étude particulière sur le parcours moyen des eaux souterraines et les implications hydrogéologiques de l'infiltration des précipitations à telle ou telle altitude.

Les résultats des analyses des vingt postes pluviométriques sont donnés dans le tableau II.

Les variations de teneur sont comprises pour $\delta^{18}O$ entre -2,41 pour Bakingélé en 1972 et -9,95 au sommet en 1974, pour δ^2H entre -12,4 en 1972 (Bakingélé) et -68,0 au sommet en 1973.

Les variations de la composition isotopique sont liées à celles de la température. L'existence en général, de gradients thermiques réguliers avec l'altitude permet d'utiliser ce dernier paramètre dans l'étude isotopique des précipitations.

Les hauteurs de précipitations annuelles ne constituent pas un paramètre susceptible d'expliquer les variations de leur composition isotopique. Un semblant de relation apparaît cependant malgré une forte dispersion ; mais cela est dû, comme nous l'avons signalé, à l'existence de gradients pluviométriques en fonction de l'altitude.

En première analyse nous étudierons donc les variations de la composition isotopique des précipitations en fonction de l'altitude.

331 - ETUDE DES CORRELATIONS

Les teneurs en oxygène 18 des précipitations recueillies à chaque poste pluviométrique pour chaque année ont été mises en régression en fonction de l'altitude de collecte.

Les regressions sont très bonnes comme en témoigne le calcul des coefficients de corrélation :

$$1972 \ r = -0,978 \text{ équation de la droite } \delta^{18}O = -0,16 \ z \ 10^{-2} - 2,65$$

$$1973 \ r = -0,975 \text{ équation de la droite } \delta^{18}O = -0,16 \ z \ 10^{-2} - 3,15$$

$$1974 \ r = -0,962 \text{ équation de la droite } \delta^{18}O = -0,16 \ z \ 10^{-2} - 3,40$$

Les variations de la pente de la droite de régression n'excèdent pas 2 % d'une année à l'autre.

En considérant l'échantillon des années 72-73 le coefficient de corrélation est $r = -0,980$ et l'équation de la droite

$$\delta^{18}O = -0,16 \ z \ 10^{-2} - 2,90$$

Avec les derniers résultats (précipitations 74) dont l'échantillon montre une dispersion un peu plus forte, le coefficient de corrélation obtenue pour les 3 années est $r = -0,969$ et l'équation de la droite

$$\delta^{18}O = -0,16 \ z \ 10^{-2} - 3,01 \quad (1)$$

332 - LE GRADIENT

Il est remarquable de noter que le gradient de variation de la teneur en oxygène 18 est resté le même d'une année à l'autre.

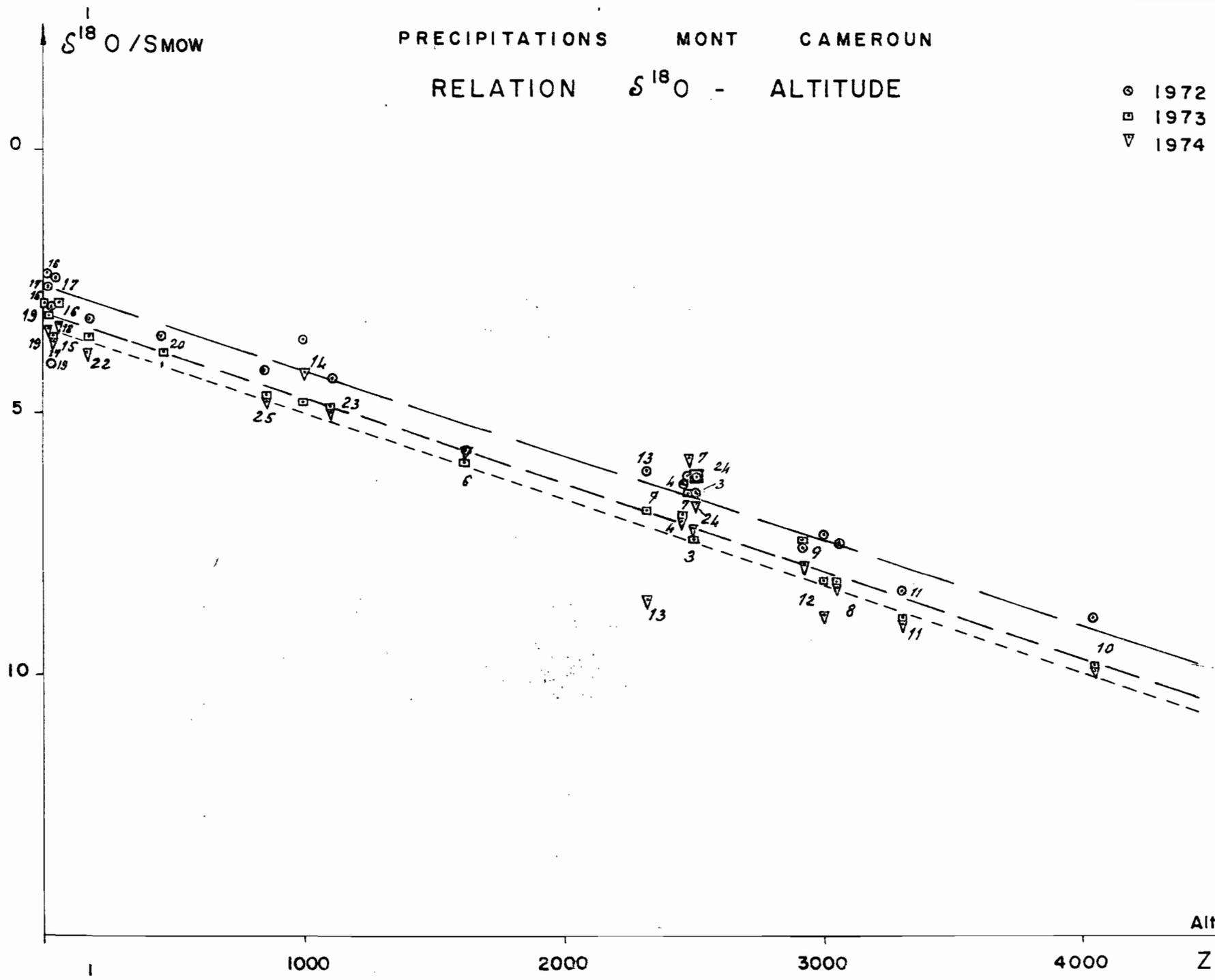
Les valeurs de $\delta^{18}O$ / SMOW diminuent de 0,16 par 100 m gagnés en altitude.

Ce gradient est faible par rapport aux résultats d'études semblables effectuées dans des régions d'altitude.

(1) Ecart résiduel de $\delta^{18}O$ $v = 0,21$ en 72, $0,23$ en 73, $0,41$ pour 72 - 73, $0,57$ en 1974 et $0,52$ pour les 3 années.

PRECIPITATIONS MONT CAMEROUN
 RELATION $\delta^{18}\text{O}$ - ALTITUDE

○ 1972 ———
 □ 1973 ———
 ▽ 1974 - - - -



date

des.

76/2-2

Gr. 4

Altitude
 Z m

Ces travaux indiquent des variations générales du gradient de $-0,6 \delta^{18}O/100 \text{ m}$ à $-0,2 \delta^{18}O/100 \text{ m}$ entre les hautes et les basses latitudes. Pour le Kilimandjaro on a relevé un gradient de $-0,3\delta^{18}O/100 \text{ m}$, soit près du double de la valeur mesurée au Mont Cameroun ; ce dernier est à environ 4° de latitude Nord alors que le Kilimandjaro n'est qu'à 3° au Sud de l'Equateur. Cette différence s'explique sans doute par la proximité de la mer qui baigne le pied du Mont Cameroun, alors que le Kilimandjaro est déjà à 300 km de l'Océan Indien.

La situation particulière du Mont Cameroun entraîne un gradient régulier de température en altitude qui expliquerait que l'on se trouve en présence d'un mécanisme très pur de distillation fractionnée des masses de vapeur.

333 VARIATIONS DE L'ORDONNEE A L'ORIGINE

La comparaison des compositions isotopiques d'une année à l'autre montre généralement des valeurs assez voisines pour un poste. Les variations n'excèdent pas en moyenne $\pm 5 \%$ de la valeur moyenne des 3 années et sont souvent plus réduites (exception faite du poste 12 et, surtout, du poste 13). Cette relative stabilité des compositions isotopiques témoigne d'un régime permanent bien établi dans le mécanisme des précipitations.

Cependant le calcul de l'équation des droites de regression de chaque année montre que les ordonnées à l'origine sont tout de même assez différentes d'une année à l'autre. Ainsi l'ordonnée à l'origine passe de $-2,65$ à $-3,15$ de 1972 à 1973 et à $-3,40$ en 1974, soit des variations respectives de $-0,50$ et $-0,25$ en $\delta^{18}O$.

Ces variations pourraient signifier que la distillation fractionnée des masses de vapeur s'effectue suivant un profil thermique décalé en altitude d'une année à l'autre (en fonction de conditions climatiques particulières), ou en d'autres termes, que le niveau de condensation des précipitations reçues en un même point se situe à différentes altitudes suivant l'année.

Ainsi le niveau moyen de condensation en 1973 serait de 300 m plus haut que celui de 1972, et en 1974 de 150 m plus élevé qu'en 1973 (0,50/0,0016 et 0,25/0,0016)

Une analyse fine des variations de la composition isotopique des précipitations annuelles au Mont Cameroun implique donc de substituer à l'altitude un paramètre traduisant les conditions climatiques propres à l'année considérée.

34 RELATION ENTRE $\delta^{18}O$ ET LES TEMPERATURES

341 DETERMINATION DES DONNEES CLIMATIQUES

Dans l'aperçu qui a été donné sur les précipitations du Mont Cameroun, l'originalité des trois dernières années a été dégagée. Aucune autre mesure climatologique ^{que celle des précipitations} n'ayant pu être réalisée au Mont Cameroun, nous avons tenté l'exploitation des observations effectuées à Tiko et surtout Douala.

Pour Tiko on ne dispose que d'observations au sol, tandis que pour Douala le lâcher journalier de ballons-sonde complète les mesures du sol par des mesures dans l'atmosphère.

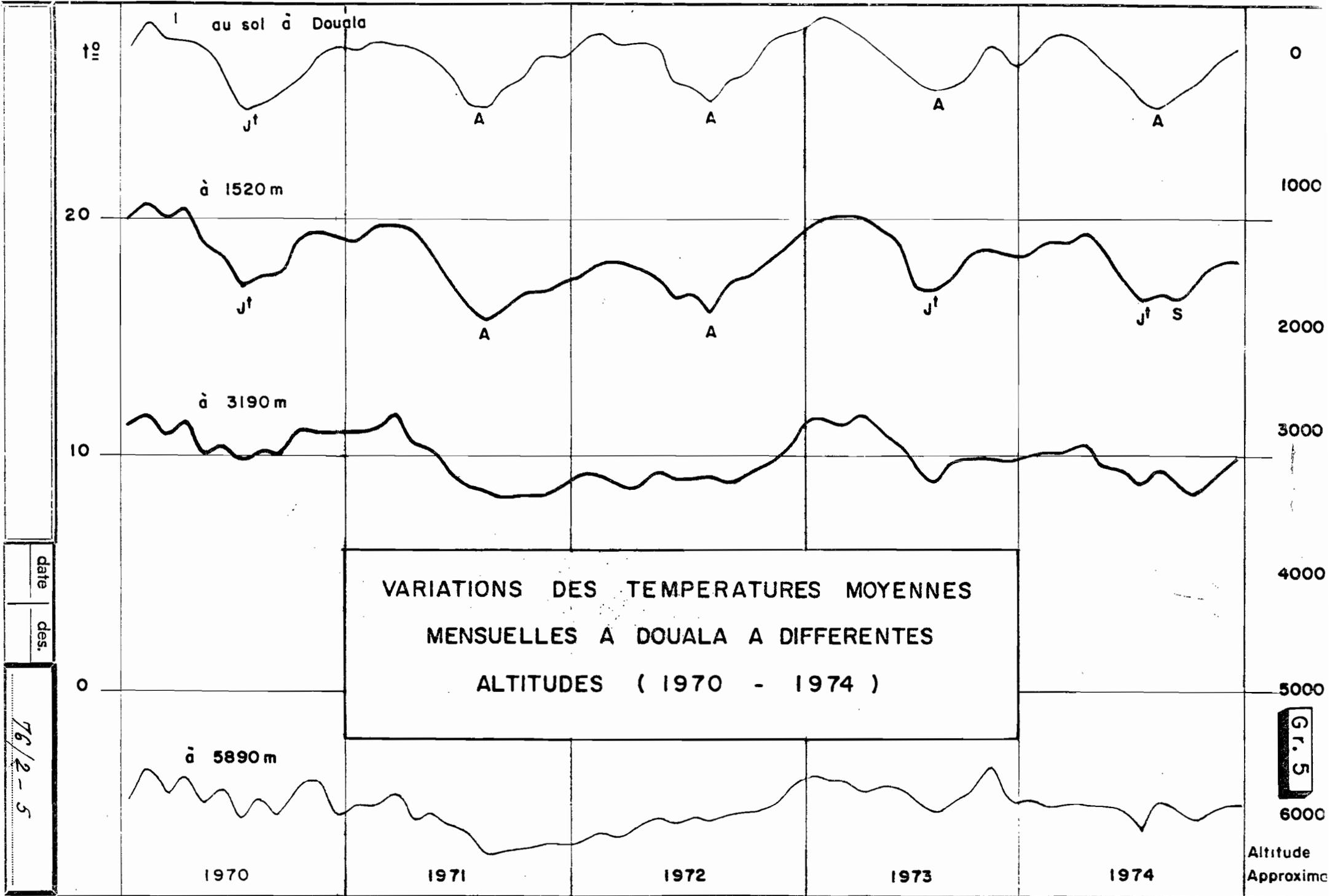
La proximité de Douala (à 70 km de FAKO) soumis par ailleurs aux mêmes conditions climatiques que le Mont Cameroun justifiait à priori l'exploitation des observations météorologiques, et notamment celle des données transmises par sondages.

Les moyennes annuelles des différents paramètres ont été calculées pour les 5 dernières années et sont données dans le tableau III.

L'évolution mensuelle des températures au sol et en altitude de 1970 à 1974 est indiquée dans le graphique 5

Le graphique donne les variations de la température moyenne annuelle (T) et de la température moyenne annuelle du point de rosée (Td) en fonction de l'altitude pour les années 72, 73 et 74.

Ce graphique montre un gradient régulier, sensiblement le même d'une année à l'autre, mais un décalage des températures qu'il était intéressant de rapporter aux variations de la composition isotopique des précipitations.



date
des.
76/2-5

G.R.S.
Altitude Approxim

TABLEAU III

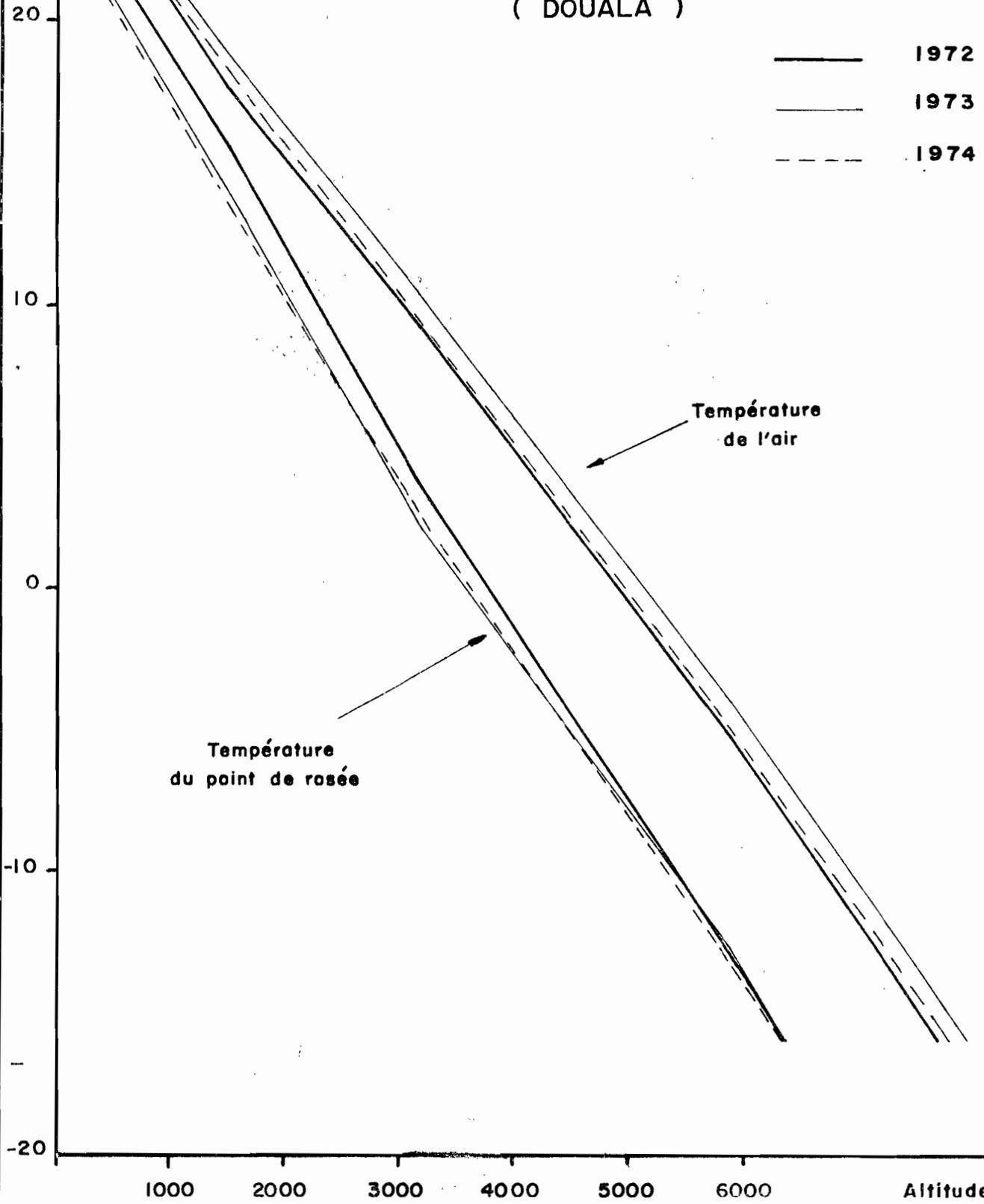
VARIATIONS DE QUELQUES PARAMETRES CLIMATIQUES

A DOUALA ET TIKO

(VALEURS MOYENNES ANNUELLES)

DOUALA	1970	1971	1972	1973	1974
Tempe. au sol	26,5	26,4	26,7	26,9	26,4
T à 1520 m	19,0	17,7	17,6	18,8	18,0
T à 3170 m	10,7	9,5	9,2	10,4	9,5
T à 5890 m	-4,4	-5,8	-5,4	-4,1	-5,0
T à 7620 m	-14,7	-16,1	-15,8	-14,1	-14,9
Td au sol	24,8	24,5	24,8	24,2	24,0
Td à 1520	16,3	14,7	15,6	14,0	13,6
Td à 3170	5,2	3,8	3,8	2,3	2,8
Td à 5890	-11,3	-12,6	-13,0	-12,8	-13,2
Td à 7620	-22,8	-23,6	-24,7	-24,1	-24,9
Insolation Heures	1675	1730	1761	2146	1876
Précipitations	4307	4597	3393	3451	3575
TIKO					
Temp. au sol	26,1	26,0	26,6	26,4	25,9
Insolation	-	1566	1799	1946	1806
Précipitations	2758	2451	2622	2039	2563

VARIATIONS DES
TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES
(T et T d) AVEC L'ALTITUDE
(1972, 1973, 1974)
(DOUALA)



342 $\delta^{18}O$ ET TEMPERATURE MOYENNE DE L'ATMOSPHERE

A partir des courbes annuelles de température de l'atmosphère, en fonction de l'altitude, nous avons attribué à chaque poste pluviométrique une température moyenne annuelle pour 1972, 1973 et 1974. Une étude de corrélation $\delta^{18}O/T$ a été faite. Elle n'est pas satisfaisante (1). Si la teneur en isotopes lourds diminue d'une manière générale, avec la température, on constate ici qu'aux températures plus fortes de 1973 correspondent des teneurs en isotopes plus faibles. L'inverse aurait paru plus satisfaisant. Or, le caractère de sécheresse de l'année 1973 n'exclue pas pour autant une provenance identique des masses de vapeurs (domaine de la mousson). On doit donc admettre qu'au niveau de l'analyse fine, la température moyenne annuelle ne constitue pas le paramètre idoine.

343 $\delta^{18}O$ ET TEMPERATURE DU POINT DE ROSEE

L'introduction du paramètre Td (température du point de Rosée) paraît beaucoup plus satisfaisante. En effet, les variations de Td d'une année à l'autre vont dans le même sens que celles des teneurs en isotopes lourds. Pour une même température Td, la différence d'altitude porte sur 200 à 300 m entre 1972 d'une part et 1973, 1974 d'autre part.

Ces valeurs sont à rapprocher des 300 et 450 m de décalage entre 72 et 73, 74 dans les relations $\delta^{18}O = f(z)$.

Ceci laisse présager l'existence d'une corrélation interannuelle satisfaisante.

En outre, les phénomènes de condensation sont liés à la température du point de rosée et la recherche d'une régression $\delta^{18}O = f(Td)$ est tout à fait conforme à la théorie de la distillation isotopique.

Les corrélations année par année montrent des coefficients très voisins de ceux obtenus à partir de z du fait de la quasi linéarité de la relation $Td = f(z)$

1972	r =	0,987
1973	r =	0,988
1974	r =	0,961

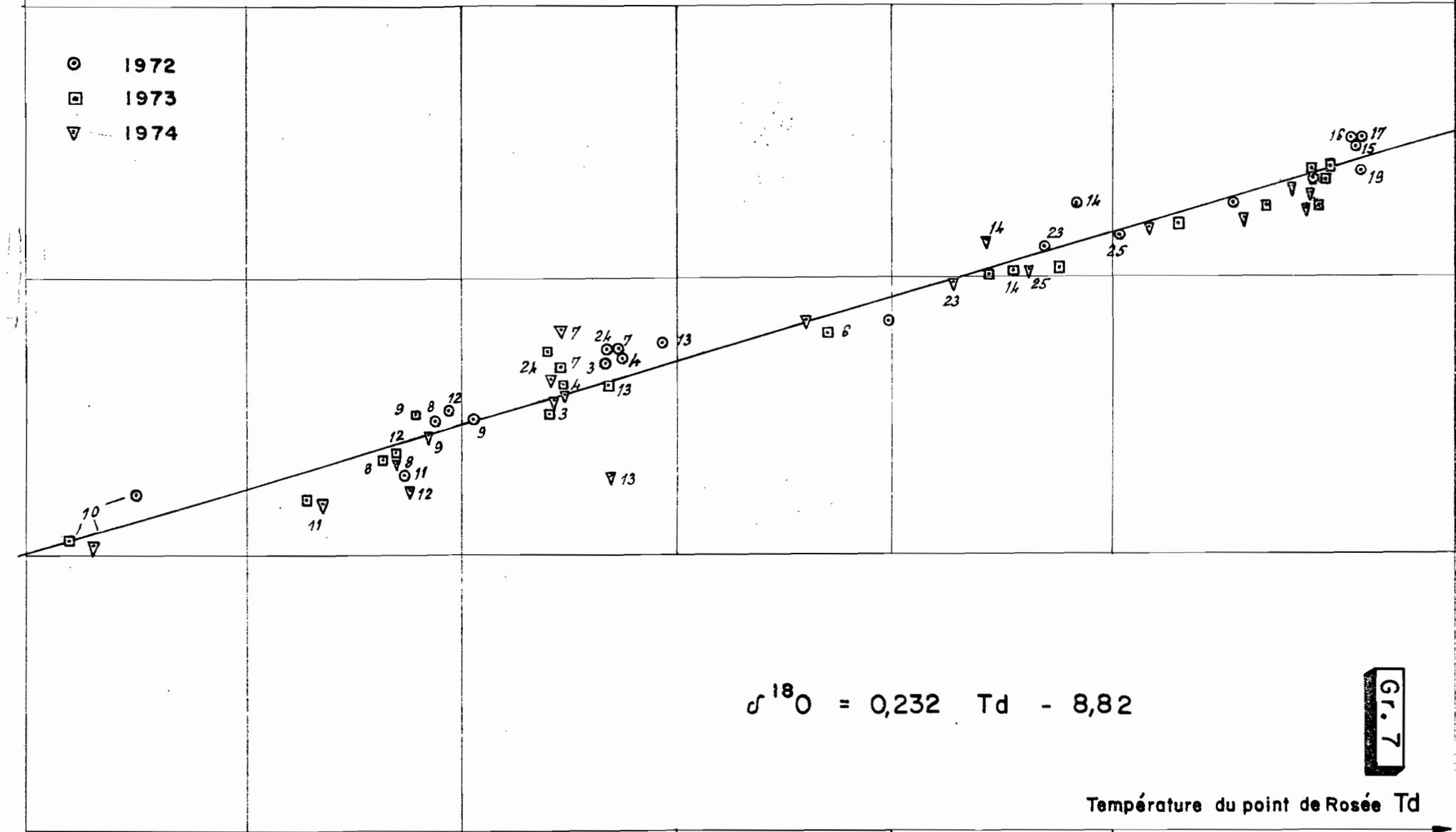
(1) { r = 0,90 seulement et $\delta^{18}O = 0,3 T^0 - 10,7$ }

$\delta^{18}\text{O} / \text{SMOW}$

PRECIPITATIONS MONT CAMEROUN

RELATION $\delta^{18}\text{O}$ - Td POINT DE ROSEE

- 1972
- 1973
- ▽ 1974



$$\delta^{18}\text{O} = 0,232 \text{ Td} - 8,82$$

Gr. 7

Température du point de Rosée Td

-5 0 5 10 15 20 25 °C

L'échantillon 1972-1973 montre un coefficient de corrélation de 0,986 contre 0,98 pour $\delta^{18}O = f(z)$ et un écart résiduel $v = 0,35$. Enfin, l'échantillon global portant sur 59 couples montre un coefficient de corrélation de 0,976 (contre 0,969 pour $\delta^{18}O = f(z)$). Le gain obtenu n'est donc pas négligeable.

L'écart résiduel est de $v = 0,46$

L'équation de la droite de régression s'écrit :

$$\delta^{18}O = 0,232 Td - 8,82$$

3.5 VARIATIONS DE δ^2H

La composition en Deutérium des précipitations suit des variations tout à fait comparables à celles qui ont été observées pour l'oxygène 18 ; Ces isotopes lourds obéissent aux mêmes types de fractionnement. L'échantillon de mesures, plus réduit, 18 valeurs portant sur 1972 et 1973, ne permet pas une analyse fine. On retrouve cependant le décalage entre les valeurs de 1972 et celles de 1973.

L'étude de la corrélation entre δ^2H et l'altitude a été faite. L'équation de la droite de régression de l'échantillon 72-73 s'écrit :

$$\delta^2H = \delta D = - 1,20 z 10^{-2} - 15,4$$

3.6 RELATION ENTRE $\delta^{18}O$ ET δ^2H

L'établissement de relations générales linéaires, entre les teneurs en isotopes lourds (^{18}O et D) et l'altitude ou la température, implique que se vérifie une corrélation du même type entre les teneurs respectives en ^{18}O et D .

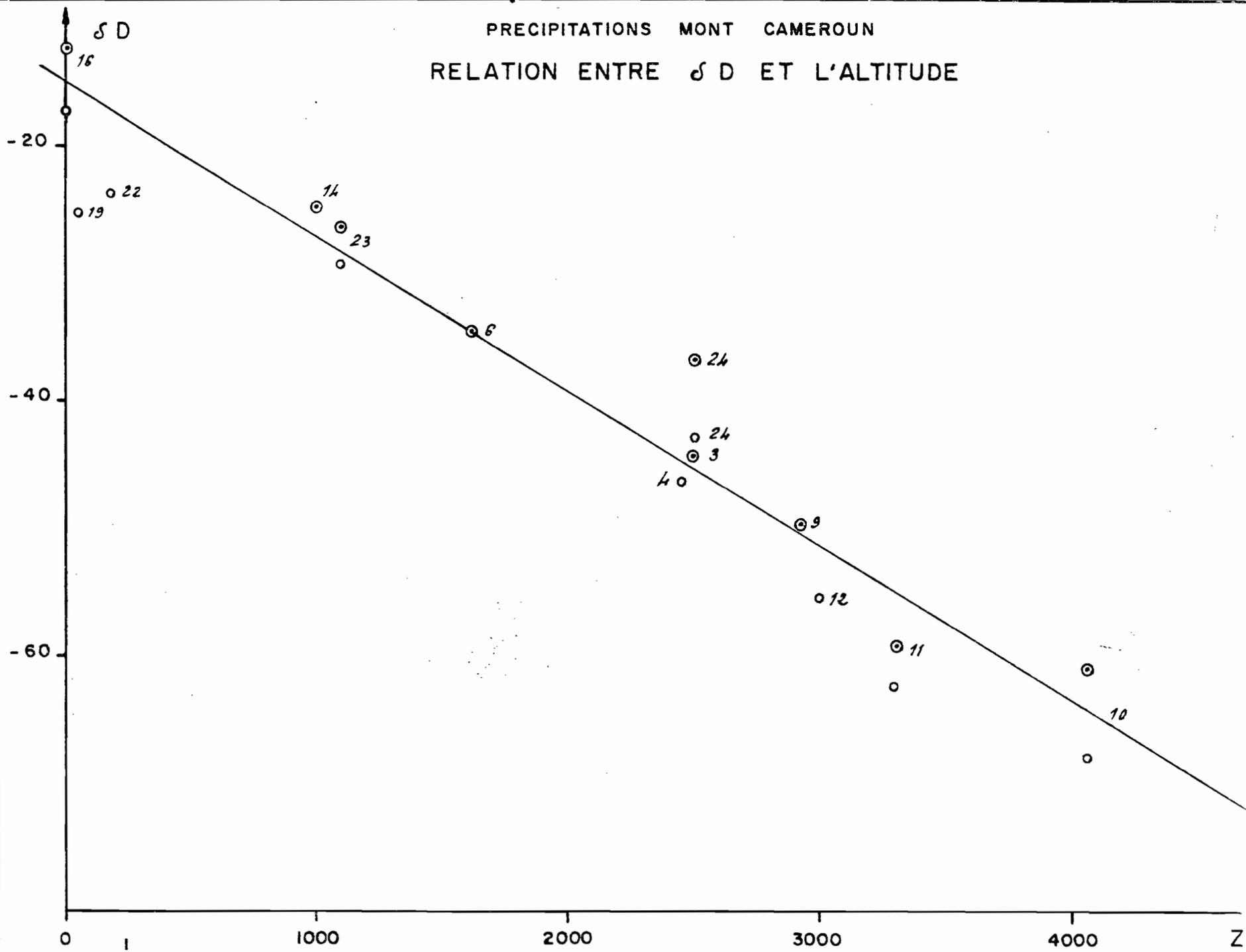
A partir de l'échantillon dont nous disposons (réduit à 18 couples mais seulement 13 stations) l'équation de la droite de régression s'écrit :

$$\delta D = 7,5 \delta^{18}O + 6,4$$

H. CRAIG a montré que les précipitations à l'échelle du globe obéissent à la loi générale d'expression

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10$$

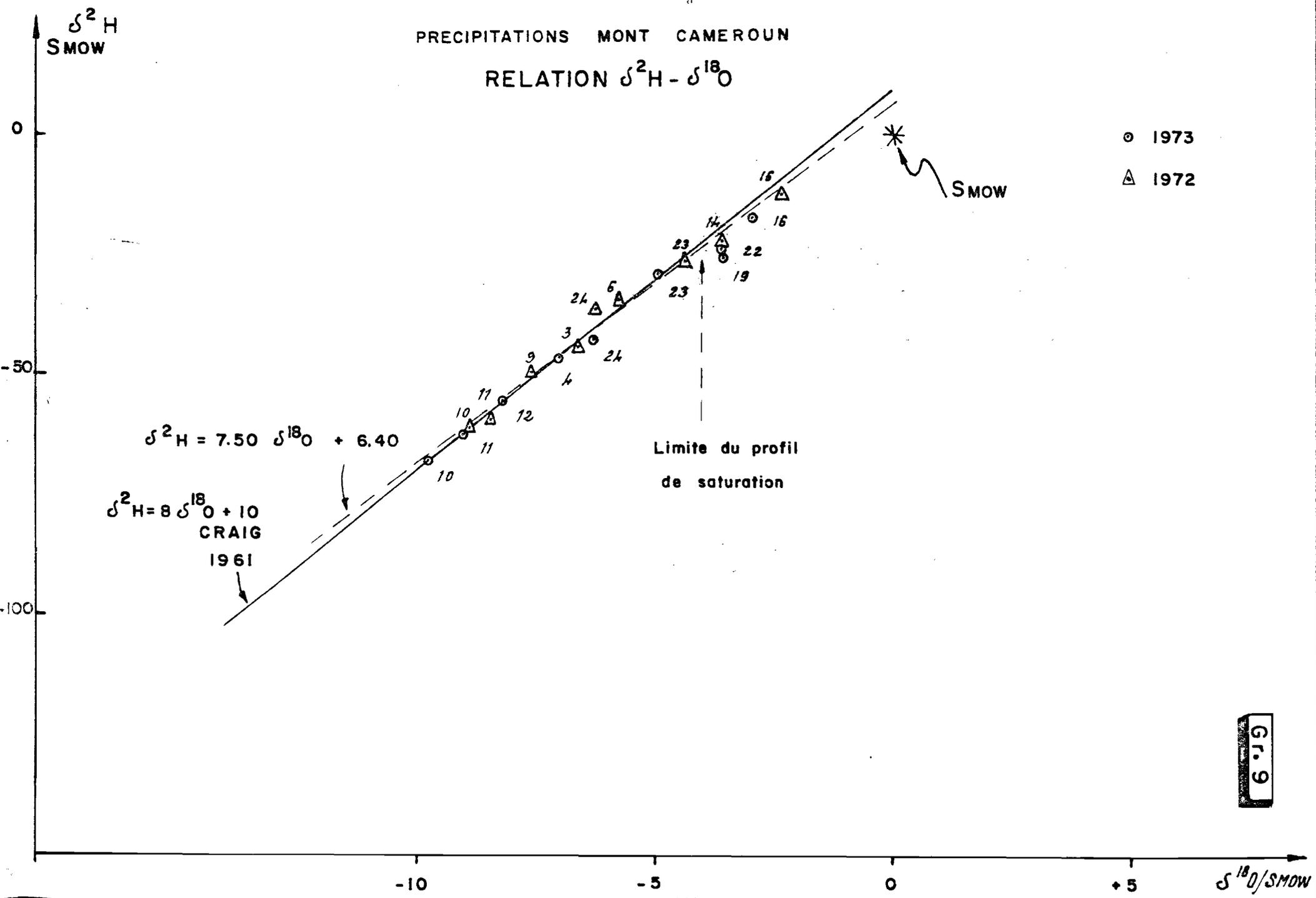
PRECIPITATIONS MONT CAMEROUN
 RELATION ENTRE δD ET L'ALTITUDE



date
 des.
 76/3-2

PRECIPITATIONS MONT CAMEROUN

RELATION $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$



Si dans le détail des régions météorologiques l'ordonnée à l'origine n'est pas toujours la même, la pente par contre se révèle extrêmement constante.

Le graphique montre que la droite expérimentale obtenue pour le Mont Cameroun est très proche de la droite de CRAIG qui caractérise le mécanisme de condensation à l'exclusion de toute évaporation successive. Ceci apporte à posteriori la preuve de la validité de la technique employée dans la mesure des précipitations par des totalisateurs annuels. L'eau recueillie ne subit pas d'évaporation occulte.

Il est à noter par ailleurs que la droite expérimentale ne s'écarte de la droite de CRAIG que sous le poids des stations les plus basses en altitude n° 16, 14, 22 et 19 dont les précipitations auraient subi une très légère évaporation par rapport au reste de la collection.

Ces stations, de par leur faible altitude, sont les plus susceptibles d'une légère sous-saturation en humidité de l'atmosphère. Ceci expliquerait que l'eau recueillie à ces stations ait subi une légère évaporation au cours de la précipitation dans un profil atmosphérique non saturé.

3.7. CRITIQUE DES RESULTATS

Il peut paraître illusoire d'espérer un gain d'information significatif à partir d'une analyse fine sur des échantillons pris à l'échelle de l'année.

Cette critique est basée sur :

- Les variations climatiques observées entre le littoral et le sommet, entre le Versant maritime et le versant sous le vent
- Les variations saisonnières de la composition isotopique des précipitations.

En fait, les variations climatiques, entre le rivage et le sommet, entre les versants, n'apportent pas de variations significatives dans les teneurs en isotopes lourds des précipitations, autres que celles dûes à l'altitude et aux variations de température. De légères anomalies par rapport au comportement d'ensemble, pour les postes 24, 4 et 7, pourraient s'expliquer par un effet de relief local ou encore par la

participation aux précipitations reçues à ces postes de vapeur transpirée par la forêt plus basse en altitude ; bien que d'autres postes comme les n^{os} 3 et 13 ne viennent pas confirmer ces hypothèses.

En ce qui concerne les postes de basse altitude 16, 14, 22 et 19, l'hypothèse de précipitations dans un profil atmosphérique non saturé (mis en évidence dans l'étude de la relation $D = f(\delta^{18}O)$) paraît plus plausible mais demande à être confirmée par d'autres mesures sur les stations correspondantes.

En ne considérant que l'échantillon de la façade maritime sur un profil qui va de Bakingele au sommet du Mont Cameroun (pour lequel nous avons étudié l'évolution des précipitations avec l'altitude), on pouvait espérer obtenir de meilleures relations dans l'étude des variations des compositions isotopiques. Il était en effet logique de supposer que le mécanisme de distillation fractionnée des masses de vapeur soit plus pur et plus régulier sur la façade maritime que pour l'ensemble de la région soumise au Nord à certaines influences continentales.

En fait, la dispersion des valeurs est tout à fait comparable à celle de l'ensemble de l'échantillon et on n'obtient pas de meilleure relation.

La saison des pluies dure de 11 à 12 mois sur la côte. Et seulement 4 mois au sommet ; de ce fait, des variations saisonnières de la composition isotopique des précipitations pourraient à priori être responsables d'une forte dispersion dans les résultats. Or, cette dispersion reste faible.

Ces variations saisonnières de teneurs en isotopes lourds sont généralement liées à celles du profil thermique en cours d'année, ce qui explique qu'en zone tempérée ces variations soient importantes entre les pluies hivernales et estivales. Quelques mesures effectuées dans la région de GAROUA (9° de latitude Nord) montrent également des variations importantes à l'échelle du mois (climat tropical).

Mais pour le ~~Mont~~ Cameroun il n'est pas certain que ces variations soient importantes. Climat équatorial et influence océanique contribuent à réduire les amplitudes thermiques annuelles, et par suite, les variations de la composition isotopique des précipitations en un lieu donné.

En supposant même que ces variations ne soient pas négligeables, la distribution mensuelle des précipitations suffirait à expliquer l'homogénéité de la collection d'échantillons annuels.

Les histogrammes des stations côtières (Dobundsha, Isongo, Idenau) comme ceux de stations plus continentales (Mbanga, Ekona, Buea) montrent que 70 à 80 % des précipitations tombent de Juin à Octobre, époque à laquelle le sommet du Mont Cameroun est lui-même dans le domaine de la mousson.

Le poids des précipitations de Décembre, Janvier, Février, inexistantes en altitude, apparaît relativement négligeable. D'éventuelles variations des teneurs en isotopes lourds à cette époque auraient peu d'incidence à l'échelle de l'échantillon annuel.

Cependant ces éventuelles variations, et l'absence de précipitations en altitude pendant l'hiver boréal, pourraient expliquer une légère diminution du gradient de $\delta^{18}O = f(z)$ entre 3000 et 4000 m (postes 10 et 11).

3.8 CONCLUSIONS

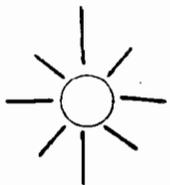
L'analyse de ces phénomènes secondaires susceptibles de modifier localement la composition isotopique des précipitations ne montre en définitive rien de bien significatif compte tenu de la faible dispersion des variations étudiées. Le schéma (gr. 10) illustre la genèse de ces variations.

La poursuite des analyses en 1975 et 1976, l'étude des variations isotopiques mensuelles en 1976 pour Idenau permettront sans doute de préciser ces points de détail.

D'ores et déjà il apparaît que les grosses variations climatiques observées au cours des trois années de mesure n'ont pas eu d'effet majeur sur la composition isotopique des précipitations.

Climat équatorial, présence de l'océan et épaisseur de la mousson entraînent pour la région du Mont Cameroun un mécanisme très pur dans la distillation fractionnée des masses de vapeur probablement exceptionnel à l'échelle du globe.

Il faudrait expliquer les vocables du schéma au 15 ou 20 lignes dernier.



SCHEMA EXPLICATIF DES VARIATIONS
DE LA COMPOSITION ISOTOPIQUE DES
PRECIPITATIONS AU MONT CAMEROUN

MOUSSON



HARMATTAN



Z m

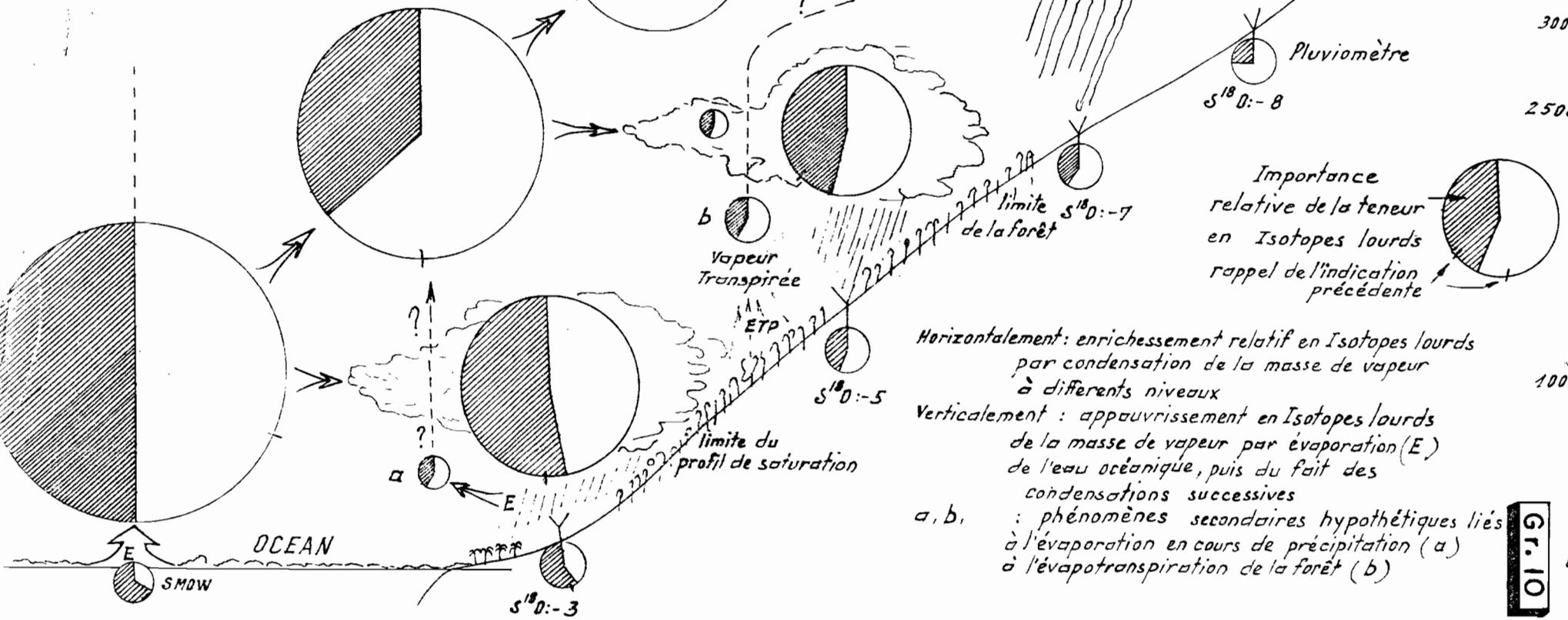
4000

3000

2500

1000

0



$s^{18}O: -10$

$s^{18}O: -8$

b
Vapeur
Transpirée

limite $s^{18}O: -7$
de la forêt

ETP

$s^{18}O: -5$

limite du
profil de saturation

a

$s^{18}O: -3$

Importance
relative de la teneur
en Isotopes lourds
rappel de l'indication
précédente

Horizontalement: enrichissement relatif en Isotopes lourds
par condensation de la masse de vapeur
à différents niveaux

Verticalement: appauvrissement en Isotopes lourds
de la masse de vapeur par évaporation (E)
de l'eau océanique, puis du fait des
condensations successives

a, b, : phénomènes secondaires hypothétiques liés
à l'évaporation en cours de précipitation (a)
à l'évapotranspiration de la forêt (b)

Gr. 10

BIBLIOGRAPHIE :

- J. CH FONTES - Quelques Aspects Isotopiques du Cycle des Eaux Naturelles p 197 - 225
(In Comptes Rendus d'un Colloque International sur les Isotopes de l'Oxygène - Déc. 72 -CADARACHE - European Molecular Biology Organization.)
- R. LEFEVRE - Aspect de la pluviométrie dans la région du Mont Cameroun. Cahiers d'Hydrologie ORSTOM
Vol IV n° 4 1967 p. 15 à 43
- J. C. OLIVRY - Les Déficit Hydropluviométriques au Cameroun pendant les années sèches 1972 et 1973.
ORSTOM Yaoundé Juin 1974 - 70 p.
- J. B. SUCHEL - La répartition des Pluies et les Régimes pluviométriques au Cameroun.
Travaux et Documents de Géographie Tropicale n° 5
CEGET 1972 287 p.
- Météorologie Nationale -Resumés mensuels du temps
Années 1970, 1971, 1972, 1973, 1974.