

COMPOSITION ISOTOPIQUE (^{18}O , ^{13}C) DE LA MATIERE
ORGANIQUE VEGETALE ACTUELLE AU SENEGAL, RESULTATS
PRELIMINAIRES ET PERSPECTIVES D'APPLICATION EN
PALEOCLIMATOLOGIE ET PALEOHYDROLOGIE

Mamadou FALL*, André FEHRI**, Jean François ARANYOSSY*, Abdoulaye FAYE
Jean Luc SAOS***

* Département de Géologie, Université C.A. DIOP de Dakar
** Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon les bains
*** Centre ORSTOM, B.P. 1386 Dakar

Résumé

La répartition géographique des précipitations au Sénégal présente une évolution latitudinale allant de 1700 mm/an au Sud à 300 mm/an au Nord. Dans ce contexte, l'étude isotopique des cernes des *Acacia albida*, échantillonnées suivant le gradient pluviométrique, met en évidence une relation entre la teneur en ^{18}O de la cellulose et la latitude. Cette relation est à mettre en rapport avec la zonation climatique.

Abstract

Geographical repartition of precipitation in Senegal, presents, a latitudinal evolution from 1700 mm/year in southern region to 300 mm/year in northern. In this context, isotopic study of *Acacia* tree-rings, sampled according to the rainfall gradient, shows a relationship between ^{18}O ratio of cellulose and latitude which could be related to the climatic zonation.

INTRODUCTION

Depuis plus d'une décennie, les isotopes (oxygène-18, deutérium, carbone-13,...) de la cellulose des plantes sont utilisées comme des "proxy-indicateurs" des paléoclimats.

Les processus qui affectent les rapports $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (et $^2\text{H}/^1\text{H}$) de la cellulose seraient les suivantes :

- les facteurs climatiques qui déterminent la composition isotopique des précipitations et des eaux des nappes ;

- l'enrichissement isotopique de l'eau des feuilles du fait de l'évapotranspiration qui est dépendante de l'humidité relative ;

22 AVR. 1992

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 35.194 ex 1

Cote : B

P83 M

- le fractionnement isotopique lors de l'incorporation de l'eau au cours de la photosynthèse, processus biochimique dépendante de la température et de l'espèce végétale.

Les études en milieux contrôlés ont permis d'établir des corrélations entre la composition isotopique de la cellulose du bois et de celle de l'eau d'arrosage, d'une part, et l'humidité relative, d'autre (A. Ferhi, 1980). Des relations quantitatives liant les rapports $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $^2\text{H}/^1\text{H}$ de la cellulose et de l'eau du sol avec l'humidité relative ont été établies (T.W.D. Edward et P. Fritz, 1986) ; elles constituent le fondement même de la reconstitution climatique à l'aide des isotopes stables du milieu.

OBJECTIFS ET METHODES

Objectifs

Au Sénégal, la répartition géographique des précipitations présente, entre les frontières sud et nord distantes de 400 km, un gradient latitudinal allant de 1700 mm/an au Sud, à 300 mm/an au Nord (Fig. 1) alors que les variations thermiques avec la latitude sont relativement faibles. Ce contexte climatique offre la possibilité de rechercher des relations quantitatives entre les teneurs en ^{18}O (et ^{13}C) des cernes d'arbres actuelles (échantillonnées en fonction de la répartition latitudinale des isohyètes) et la pluviométrie.

La recherche de ces relations passe par la détermination des influences relatives, sur la teneur en isotopes stables de la cellulose des plantes, des facteurs tels que la composition isotopique des eaux des nappes phréatiques, la continentalité et la profondeur de la nappe.

Echantillonnage des bois actuels et des eaux des nappes phréatiques

L'échantillonnage consiste à prélever, à l'aide d'une tarière dite "de Presler", des carottes de bois sur les troncs d'arbre. Les carottes, qui ont une longueur de 20 à 40 cm, représentent chacune une accumulation de matière organique élaborée sur plusieurs années. Des études dendochronologiques sommaires ont permis de distinguer des limites assimilables à des cernes annuels. Ainsi les échantillons peuvent être datés.

Nous avons retenu comme arbre de référence, l'*Acacia albida* qui occupe une aire de répartition très étendue. A titre de comparaison et parfois de remplacement, d'autres espèces ont été également échantillonnées : *Delonix regia*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia nilotica*, *Parkia biglobosa*, *Cordyla pinnata*.

Trois transects ont été réalisées à travers le Sénégal (fig. 2) :

- un transect Nord-Sud : Dagana-Ziguinchor (20 carottes) ;
- un transect Sud-Ouest - Nord-Est : Ziguinchor-Tambacounda (6 carottes) ;

- un transect Est-Ouest : Goudiry-Dakar (8 carottes).

Analyses isotopiques des bois actuels

Les analyses isotopiques de la matière organique (^{18}O et ^{13}C) ont été effectuées au Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon les bains.

Pour chaque carotte de bois, l'échantillon analysé est constitué par une section de 3 cm de longueur prélevée à partir de l'écorce. Ainsi les échantillons analysés sont de même âge. Ce qui reste des carottes est conservé pour des futures analyses.

Oxygène-18 dans les bois actuels

L'extraction de l'oxygène organique a été faite suivant la méthode mis au point par Hardcastle et al, (1974) et reprise par Ferhi, (1980). Il s'agit d'une pyrolyse de la matière organique sous vide en présence d'un excès de carbone fourni par la poudre de diamant.

Les analyses ont porté sur 39 échantillons. Les résultats, exprimés en fonction de δMOW , figurent sur le tableau I.

Carbone-13 dans les bois actuels

L'extraction du carbone organique est faite par contribution complète de l'échantillon en présence de l'oxygène : $\text{C} - \text{H} - \text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Les analyses ont porté sur 39 échantillons. Les résultats, exprimés en fonction du standard PDB, sont consignés sur le tableau I.

RESULTATS ANALYTIQUES

Oxygène-18 et deutérium des eaux des nappes phréatiques

Les analyses isotopiques ont porté sur 44 échantillons d'eau répartis du Nord au Sud du Sénégal. Les résultats, exprimés par rapport au SMOW , sont portés sur le tableau I. Les teneurs en ^{18}O varient entre -6,34 et -3,60 ‰ vs SMOW ; celles en ^2H varient entre -40.8 et -27.70 ‰ vs SMOW .

Sur le diagramme $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ (fig. 3), la distribution des échantillons par rapport à la droite météorique mondiale indique une évaporation d'intensité variable. Cette distribution résulte de l'effet conjugué de la latitude, de la pluviométrie, de la température moyenne annuelle ainsi que de la profondeur des aquifères considérés.

La relation entre la teneur en ^{18}O de l'eau des nappes et la latitude (fig. 4) montre une répartition différente des points entre le Nord et le Sud. On peut distinguer deux transects complémentaires :

- dans la partie nord, le transect Mbour - Dagana où la relation ^{18}O des eaux/latitude est nette ;

- dans la partie sud, le transect Ziguinchor - Kaolack où cette relation n'apparaît pas.

Ceci reflète la dualité entre le Nord et le Sud du pays dont la séparation semble correspondre à l'isohyète 700 mm.

Au Nord, les aquifères phréatiques sont généralement profonde, et ne subissent pratiquement pas de recharge du fait du déficit pluviométrique. On note un enrichissement isotopique graduel à mesure que la pluviométrie diminue comme le montre la configuration des isohyète (fig. 1).

Au Sud, par contre, les aquifères - peu profonds - bénéficient d'une recharge annuelle par les eaux de pluie. Le cachet isotopique des eaux traduit une faible reprise évaporatoire.

Oxygène-18 des cernes d'*Acacia albida*

La gamme des teneurs en ^{18}O des cernes s'échelonnent du Nord au Sud entre +34,95 ‰ et +27,8 ‰ vs SMOW.

Les graphiques de la figure 5 mettent en évidence une relation entre la composition isotopique de l'oxygène des cernes d'*Acacia* et la latitude.

La relation ^{18}O /latitude est nette dans les deux transects complémentaires Mbour-Dagana et Ziguinchor-Kaolack qui se relayent au niveau du tronçon subméridien Mbour-Kaolack (fig. 2).

L'examen de la répartition de l'ensemble des échantillons sur l'axe nord-sud Ziguinchor-Dagana, nous amène à envisager l'influence de deux facteurs : (1) la proximité de la mer. La frange côtière est en effet soumise à un micro-climat qui atténue sensiblement la température de l'air et maintient une humidité relative plus grande par rapport à l'intérieur des terres (2) : la composition isotopique de l'eau des nappes superficielles.

En sélectionnant sur l'axe Ziguinchor-Dagana, les sites situés assez loin de la mer et à égale distance de celle-ci (entre 50 et 60 km de rivage), on obtient une meilleure corrélation entre l'oxygène-18 des cernes d'*Acacia* et la latitude (fig. 6). Par contre, le graphique ^{18}O cellulose/ ^{18}O eaux des nappes ne montre pas de tendances significatives (fig. 7). L'hétérogénéité des aquifères dont nous parlions plus haut en seraient une des causes principales

Le carbone-13 des cernes

Les teneurs en ^{12}C varient entre $-22,99\text{‰}$ vs PDB. Ces valeurs qui sont celles de plantes de type C3 montrent une certaine répartition bipolaire. En effet, les valeurs de ^{13}C sont en moyenne plus négatives à l'extrême sud, près de Ziguinchor (moyenne $\delta^{13}\text{C} = -26,94\text{‰}$) qu'à l'extrême nord, au Walo (moyenne $\delta^{18}\text{O} = -24,92\text{‰}$) pour les échantillons d'*Acacia albida*.

CONCLUSIONS GENERALES

Le cachet isotopique des eaux des nappes superficielles ne se reflète pas directement sur la composition isotopique de l'oxygène organique bien qu'il soit établi (A. Ferhi, 1980) que la teneur en ^{18}O des plantes dépend de la teneur en ^{18}O de l'eau du sol et de l'humidité relative.

L'enrichissement isotopique de l'oxygène de la matière organique que l'on note du Sud vers le Nord du Sénégal est à mettre en relation avec la zonation climatique caractérisée par un gradient latitudinal d'aridité qui crée des conditions de plus en plus évaporantes à mesure que la pluviométrie moyenne diminue. Il apparaît donc possible d'établir une relation quantitative entre la teneur en ^{18}O de la cellulose des plantes et la pluviométrie qui constitue la composante climatique principale qui influe sur le cachet isotopique des eaux du sol et sur l'humidité relative.

La poursuite des études nécessite certaines actions telles que :

- la vérification des tendances observées, pour les eaux des nappes comme pour la matière organique, sur un transect latitudinal plus étendue passant suffisamment loin des côtes ;

- l'utilisation de l'outil statistique pour tirer davantage de renseignements dans l'exploitation des données hydro-climatiques (pluviométrie, évapotranspiration, humidité relative, etc...) et des données isotopiques (^{18}O et ^{13}C) ;

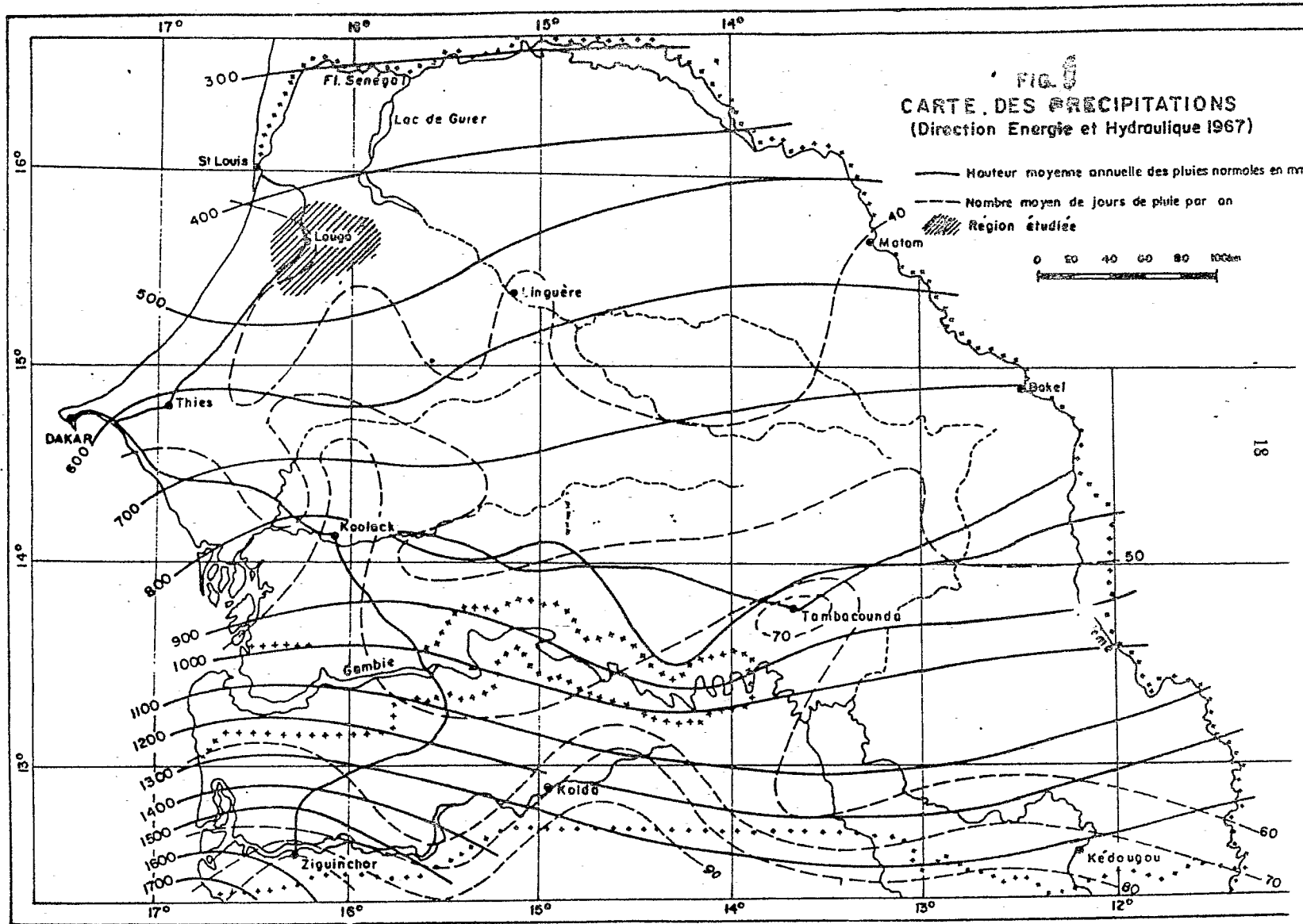
- la détermination pour chaque élément isotopique, la variabilité qui est liée à l'espèce végétale elle-même.

L'établissement d'une relation quantitative liant la composition isotopique de l'oxygène organique des plantes et la hauteur des précipitations, ouvre des perspectives de reconstitution paléoclimatologique et paléohydrologique.

En effet, l'étalonnage obtenu avec la matière organique végétale actuelle permettra de traduire en terme de pluviométrie, les variations de composition isotopique déterminées sur la matière organique des tourbières fossiles du Nord du Sénégal.

TABLEAU DES RESULTATS

N° éch.	localisation	Espé	coordonnées		0-18	H-2	Prof	0-18	C-13	
			X	Y	Nappe s	Nappe s	Nappe s	M.0	M.0	
1	M'Bour	1	287,6	1594,2	-5,07	-34,2	8	28,22	-26,43	
2	Facitk	1	247,2	1584,6	-4,62	-32,5	8,5	30,24	-26,95	
3	Kaolack	1	382,4	1562,6	-5,24	-35,6	25	31,57	-26,05	
4	Nioro	1	415,8	1519,6	-6,05	-38,4		32,28	-26,08	
5	Diaroumé	2	430	1443			35	30,2	-28,23	
7	Bouharé	1	409,5	1436,2				30,22	-28,23	
8	Diacounda	1	396	1433,4	-5,23	-33,9	12	30,22	-26,73	
9	Bignona	1	366,4	1416,4	-5,32	-33,1	7	28,86	-25,83	
10	Ziguinchor	1	362	1390,8	-5,55	-35,6		27,82	-28,38	
10 bis	Ziguinchor	1	362	1390,8			6,5	28,62	-25,12	
12	Adeane	1	387,4	1395,6	-5,36	-38,2	9	28,62	-26,91	
13	Samine	1	431,2	1381,8				29,54	-27,35	
19	Velingara	4	597	1452,8	-5,495	-36,3	12	24,91	-26,36	
20	Gouloumbo	4	639	1491				24,28	-26,5	
21	Tambacounda	4	643,6	1523,4	-5,55	-39	24	25,85	-25,93	
22	Goudiri	2	746,6	1569,2	-6,34	-40,8		25,55	-25,81	
23	Malem niani	1	576,1	1542				37,69	-26,18	1 Acacia albida
24	Koungheul	1	522,2	1544,8	-6,04	-39,7	31	29,65	-26,27	
26	Kaffrine	1	441,6	1559,2	-6,34	-39,9		30,04	-26,08	2 Cordyla pinnata
28 bis	Diourbel	1	366,8	1621			15	32,15	-25,24	
29	Bambey	1	342,4	1624	-5,62	-37,4		29,78	-25,72	3 Delonix regia
30	Thiès	1	293,2	1635,8	-5,47	-37,2	18	29,07	-27,72	
31	Thilmakha	1	366,8	1662,4	-5,28	-36,1	37	30,42	-23,12	4 Parkia biglobosa
32	Sare sara	1	382,2	1680,1	-6,08	-39,7	44,8	31,12	-25,41	
33	Keur sanou	1	384,2	1701	-4,62	-33,3	28,2	29,01	-24,63	5 Acacia nilotica
34	Nguerimalal	1	392,4	1740,6	-4,53	-35,9	4,35	29,5	-26,74	
35	Maka touré	1	394	1751	-4,52	-32	44	32,58	-25,31	6 Balanites ægyptiaca
36	Keur Momar Sarr	1	396,6	1760,6	9,76	-46,8	1	33,86	-27,26	
37	Ganguet bala	1	433,4	1786,9	9,55	-42,5	1	34,95	-25,07	
38	Keur Mbaye	1	434,8	1822	-3,92	-29,2	7,5	30,41	-26,26	
39	Demba Diam	5	441,6	1816,6	-3,57	-27,7	14,5	27,94	-26,26	
40	Mbélogne Kadiyé	6	444,8	1800,4	-3,92	-28,3	48,35	28,79	-25,45	
41	Médina Yélour	6	434,2	1790,7	-4,91	-33,8	27,8	30,67	-24,83	
42	Diaglè	1	425,6	1792,6	-5,45	-37,5	27	32,33	-22,99	
43	Beli namari	6	432	1786	-4,275	-29,2	26,4	30,72	-25,33	
44	Betel pathé	6	430	1782	-5,86	-38,6	37,25	29,36	-24,7	
45	Mbelogne Mbædi	1	427,2	1780,4	-5,94	-39,6	33	31,53	-25,6	
47	Penda yayaké		435	1773	-4,8	-32,2	39	30,37	-26,8	
48	Massamba diagne	1	423,4	1768	-6,23	-40,8	48,1	32,68	-23,75	
50	Keur cherif	1	419,4	1774,4	-5,21	-36,3	60	31,07	-23,82	



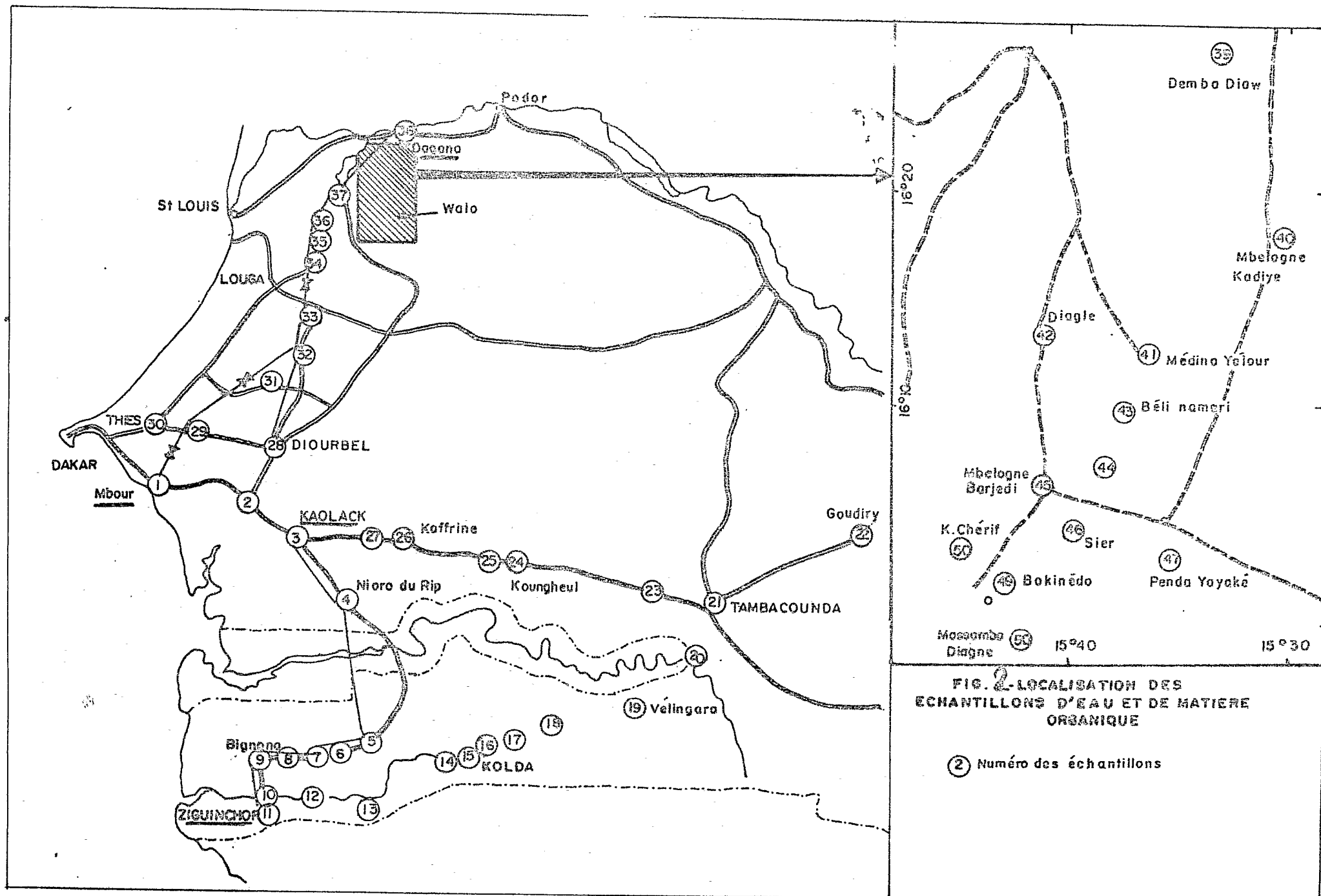


FIG. 2. LOCALISATION DES
 ECHANTILLONS D'EAU ET DE MATIERE
 ORGANIQUE

(2) Numéro des échantillons

Fig. 3 TRANSECT N-S SENEGAL

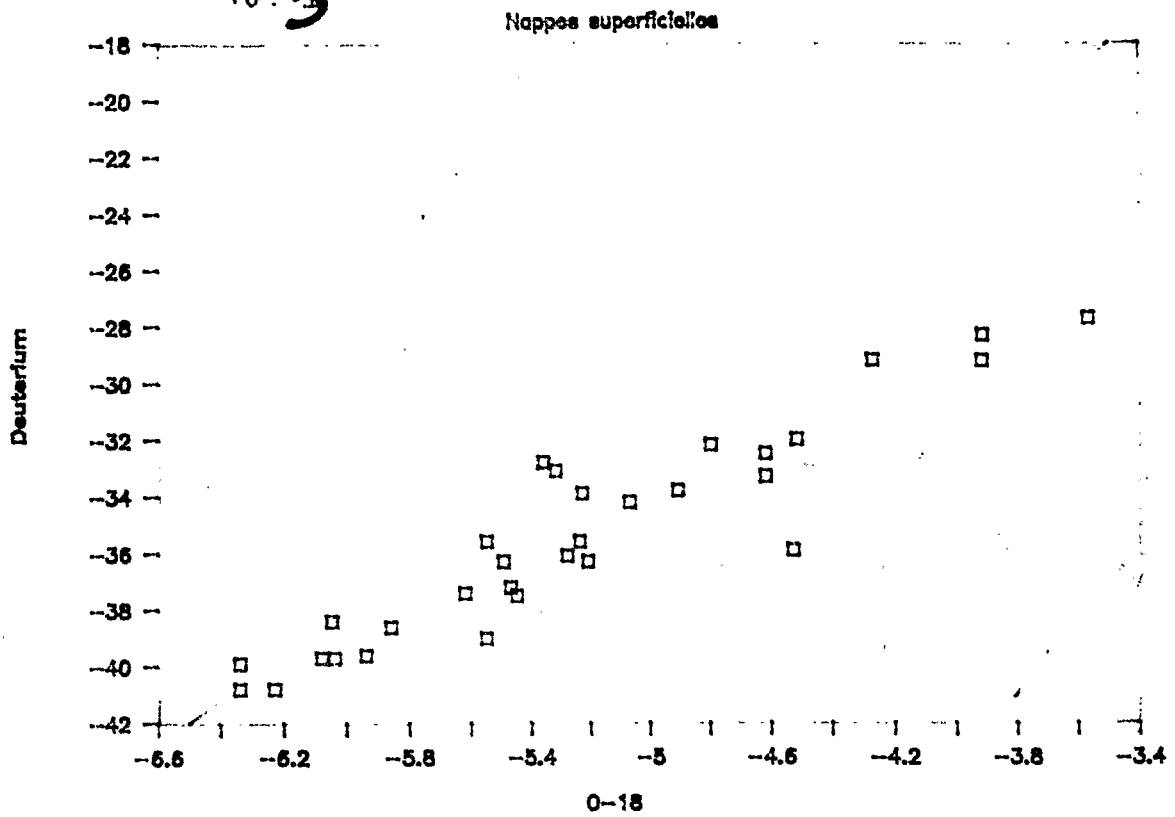


Fig. 4 Variations du $\delta^{18}O$ de l'eau des nappes superficielles en fonction de la latitude

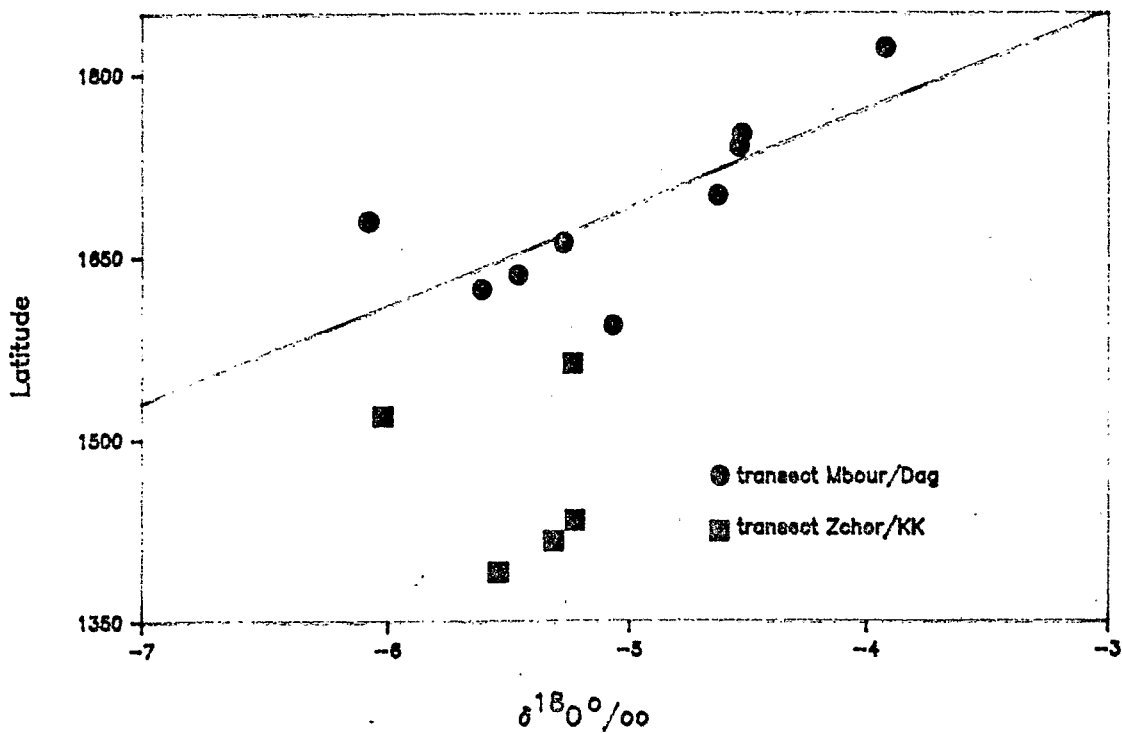


Fig. 5 Variations du $\delta^{18}\text{O}$ de la cellulose en fonction de la latitude (*Acacia albida*)

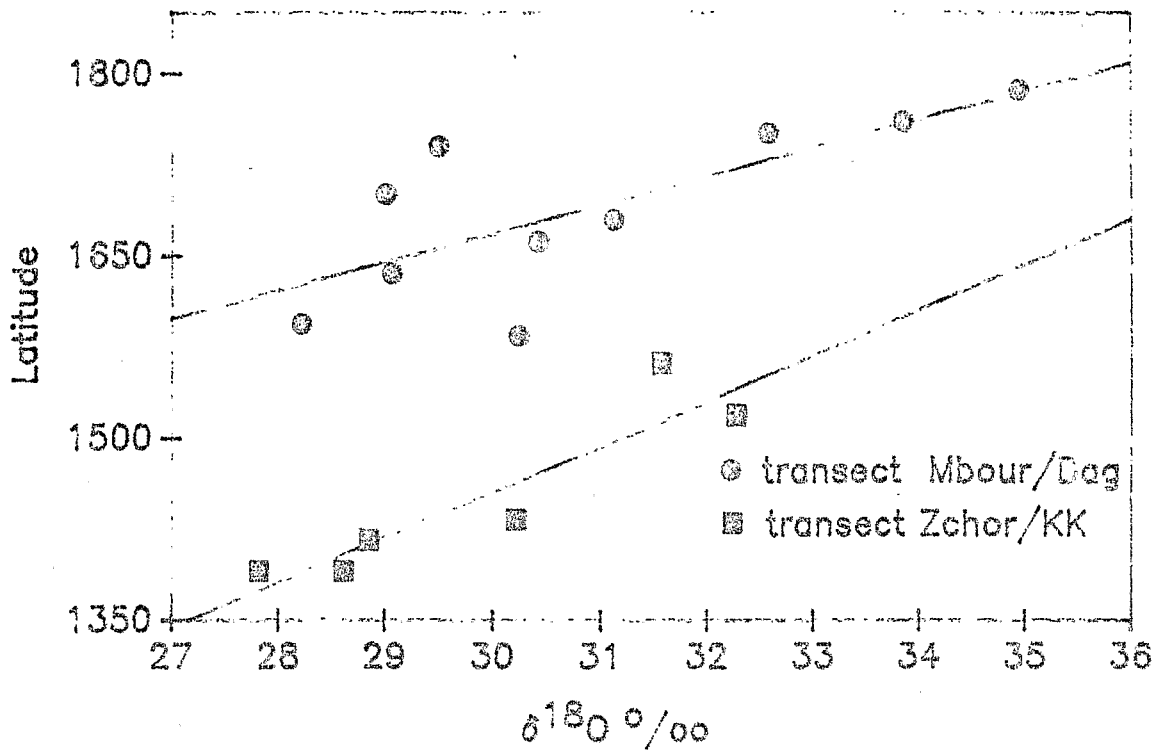


Fig. 6 Variation du $\delta^{18}\text{O}$ cellulose / latitude Sites equidistants a la mer

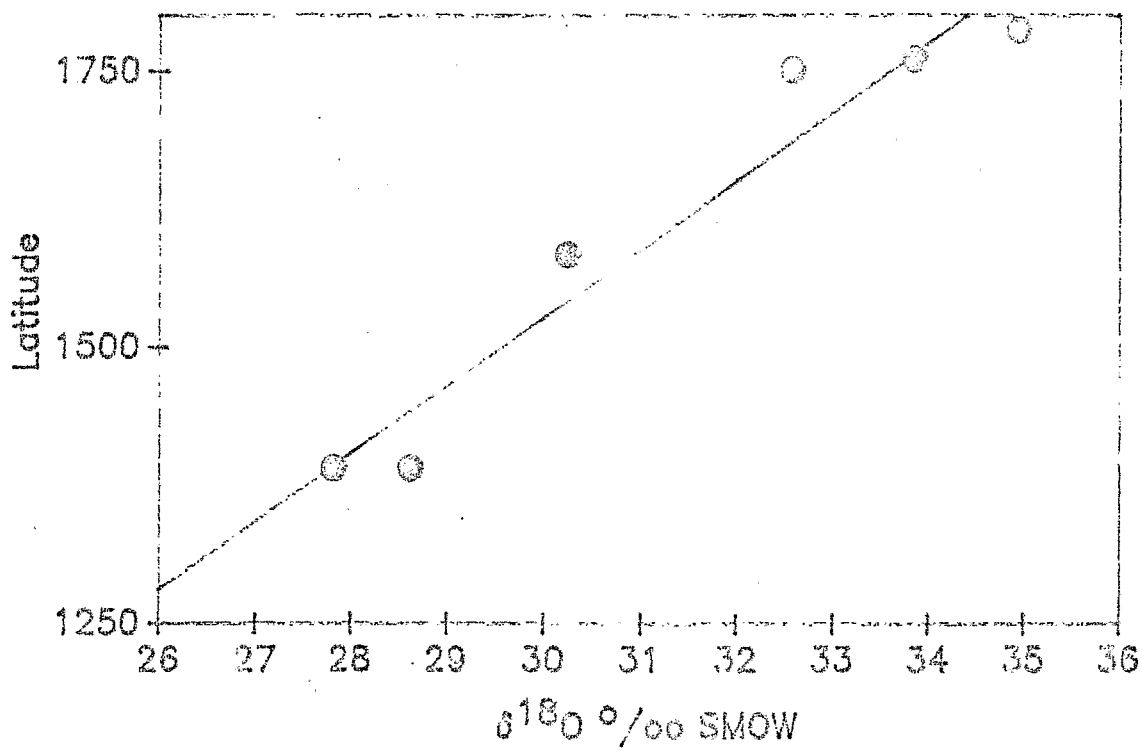
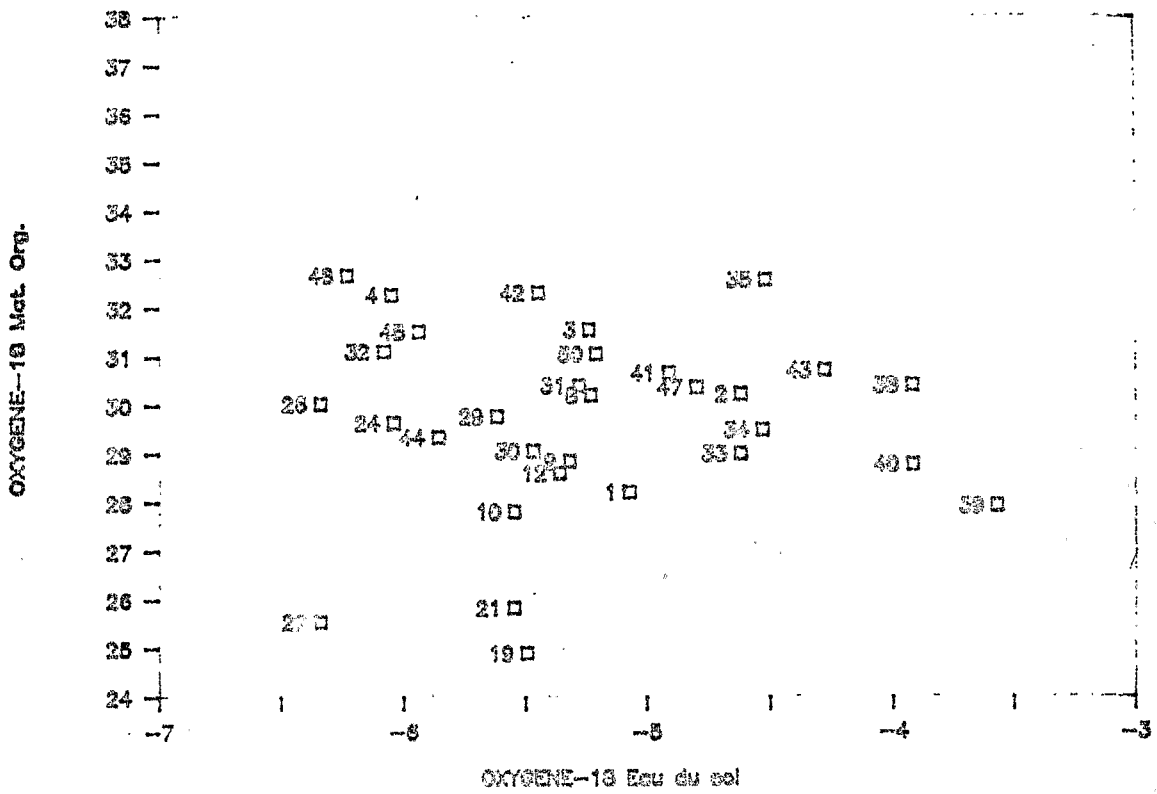


Fig. 4 RELATION 18O EAU DU SOL / 18O CELLULOSE



REFERENCES CITEES DANS LE TEXTE

- FEHRI, A., Variation des $\delta^{18}\text{O}$ de la matière organique d'origine végétale. Application à l'étude des Paléoenvironnements. Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 1980.
- EDWARDS, T.W.D. and FRITZ, P. (1986), Assessing meteoric water composition and relative humidity from ^{18}O and ^2H in wood cellulose: Palaeoclimatic implications for southern Ontario, Canada. Appl. Geochim. 1, 715-723.

REFERENCES CITEES LORS DES DISCUSSIONS

- BRENNINKMEIJER, C.A.M., VAN GEEL, B. and MOOK, W.G. (1982), Variations in the D/H and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios in cellulose extracted from a peat bog core. Earth Planet Sci. Lett. 61, 283-290.
- DUPONT, L.M. and MOOK, W.G. (1987), Palaeoclimate analysis of $^2\text{H}/^1\text{H}$ ratios in peat sequences with variable plant composition. Isotope Geosci. 66, 323-333.
- DENIRO, M.J. and COOPER, L. (1989), Post-photosynthetic modification of oxygen isotope ratios of carbohydrates in the potato: implications for palaeoclimatic reconstruction based upon isotopic analysis of wood cellulose. Geochimica Cosmochimica Acta, Vol. 53, pp. 2573-2580.
- EDWARDS (1989), New contributions to isotope dendro-climatology from studies of plant.
- DENIRO, M.J. and COOPER, L. (1989), Water is lost from leaves and trunks of trees by fundamentally different mechanisms. Geochimica Cosmochimica Acta, Vol. 54, pp. 1845-1846.