

**LE CENTRE DU BASSIN DU TCHAD AU
TARDIGLACIAIRE (14,000-9500 ¹⁴C BP) :
ESSAI D'INTERPRETATION DES
CRISES CLIMATIQUES AU SAHEL**

1. LA NOTION DE "CRISE CLIMATIQUE"

1. 1. La durée comme critère distinctif ?

a) **Définition.** Le terme de "crise climatique" a d'abord été utilisé en français en synonymie avec celui "d'accident climatique" pour désigner les détériorations abruptes, mais passagères, du climat à toutes les échelles de temps (Rognon, 1981). Puis a été proposé une classification des accidents climatiques basée principalement sur leur durée. Le terme de "crise climatique" a alors été réservé aux brusques détériorations climatiques d'une durée variant de quelques siècles à quelques millénaires (Rognon, 1983). Les crises se différencient ainsi des "anomalies climatiques" dont la durée varie d'une année à une ou deux décennies seulement (Rognon, 1983 b et c).

Crises et anomalies présentent néanmoins beaucoup de points communs, tant par leurs causes que par leurs conséquences. Ainsi, elles provoquent toutes deux une déstabilisation des milieux qui se marque de façon plus ou moins accentuée dans la morphologie et les dépôts. Au Sahel, on observe alors un renforcement des actions éoliennes au sol, une reprise de l'érosion fluviale ou un comblement des vallées, la baisse de la nappe phréatique et la disparition des mares et des lacs (Durand et Lang, 1991). De même, l'atmosphère ayant une très faible inertie thermique (quelques jours à quelques semaines), la durée des anomalies, et à plus forte raison celle des crises, impliquent dans les deux cas, un mécanisme mettant en cause la totalité du système atmosphère-océan-continent-cryosphère-biosphère (Rognon, 1983c, d et 1984; Durand et Lang, 1991).

Anomalies et crises climatiques se distinguent ainsi des "événements exceptionnels", plus brefs (quelques heures à quelques jours), mais surtout qui n'impliquent que les seuls mécanismes atmosphériques dont ils constituent un paroxysme (Rognon, 1984 ; Durand et Lang, 1991).

b) Problèmes posés.

***Questions méthodologiques.** On ne connaît pas d'événements de durée intermédiaire entre la décennie et le siècle (Rognon, 1983 a et b). De plus, les anomalies sont essentiellement connues et mesurées directement par la météorologie depuis deux siècles à peine, alors que les crises sont connues indirectement par les données géologiques. Or, le "Petit Age glaciaire" (1550-1850

ans A.D. environ) qui est la crise la mieux connue historiquement par des observations directes, à défaut de mesures fiables et suffisantes, semble en fait constitué par une succession d'anomalies (Nicholson, 1980b; Rognon, 1983a et c). **L'anomalie n'est-elle pas une crise élémentaire impossible à mettre en évidence dans les formations géologiques pour des raisons méthodologiques ?**

***Distinguer la cause des conséquences.** Pour expliquer la différence de durée entre les anomalies et les crises, et l'absence d'événements intermédiaires, Rognon (1983 b et d) évoque la possibilité du déclenchement au bout de quelques années à quelques décennies d'un mécanisme de feedback qui s'auto-entretiendrait ensuite pendant un à plusieurs siècles avant de s'amortir. Cette explication est certes possible d'un point de vue physique, mais dans le cas particulier des sécheresses récentes au Sahel, nous avons vu qu'aucune des hypothèses de feedback n'a encore pu être définitivement prouvée. La plus célèbre d'entre elles concernant la végétation et l'albédo du sol (Chamey, 1975) a même été mise en défaut (Courel, 1986). Néanmoins, cette hypothèse qui revient à proposer que la crise soit la conséquence d'une anomalie plus importante que les autres, est intéressante. En effet, elle met en relief d'une part le rôle de l'intensité du dérèglement climatique à l'origine, et d'autre part elle établit une distinction entre ce dérèglement et ses conséquences sur le milieu. Ceci nous conduit à distinguer le phénomène climatique enregistrable, le géosystème enregistreur et les conséquences effectivement enregistrées.

1. 2. Distorsions entre causes et conséquences.

a) **Le rôle du géosystème enregistreur.** Le plus souvent ce n'est pas l'événement climatique lui-même, mais ses conséquences sur le milieu qui sont enregistrées par la sédimentation (Durand et Lang, 1986 et 1991). Un même événement sera donc très diversement enregistré selon le fonctionnement du géosystème enregistreur. Ce dernier introduira une distorsion, soit en amplifiant ou en occultant l'événement, soit en le décalant dans le temps, en raison de l'existence d'un seuil d'enregistrement.

Nous avons ainsi mentionné l'existence d'un seuil d'écoulement propre à chaque bassin versant selon sa nature, sa pente et sa superficie (Rodier, 1975). Ce seuil est également fonction de chaque averse, tant par son volume que pour la taille de ses gouttes. C'est pour ces raisons que la diminution récente et importante des plus grosses averses (> 40 mm) dans la zone sahélienne (Carbonnel, 1985) ne peut qu'avoir un effet

démultiplicateur sur la diminution des écoulements. Nous avons vu également l'existence des seuils d'inondation régulant les quantités d'eau ainsi que celles des matières solides et dissoutes transportées par les cours d'eau (tabl.2). Enfin, nous avons surtout montré l'importance de l'effet de seuil pour les eaux souterraines (fig. 25). En effet, l'apparition ou la disparition de la nappe phréatique en surface ne traduit pas un niveau zéro, mais un minimum pluviométrique variable selon les conditions locales (Servant, 1973; Rognon, 1980b). Cet effet de seuil sera éventuellement amplifié par un effet d'inertie, le niveau de la nappe variant plus lentement que le climat. Il pourra aussi être annulé par un effet d'oasis, l'origine de l'eau étant à rechercher très loin du géosystème enregistreur, comme pour le Chari par rapport au lac Tchad.

Un bon exemple des conséquences de ces multiples effets de seuils a été fourni par la fin du Kanémien au Sahel. Bien que la pluviosité ait augmenté nettement à partir de 14,800 ans ¹⁴C B.P. environ (fig. 86), les dépôts aquatiques enregistrant cette humidité n'ont souvent été attestés qu'après 10,000 ans ¹⁴C B.P. (fig. 89). Une distinction doit donc être faite entre la durée d'un événement climatique et la durée de ses conséquences sur le milieu, enregistrées par la sédimentation.

b) **Limites analytiques.** Mis à part les rares cas où la mesure de l'âge pourra résulter d'un décompte annuel véritable (dépôts varvés, cernes de croissance, etc...), cet âge sera obtenu par une mesure physique, c'est-à-dire le plus souvent par le radiocarbone. Dans ce cas, indépendamment des problèmes d'interprétation des datations qui n'ont été que partiellement évoqués jusqu'à présent (fig. 99), le problème essentiel sera celui de la précision des mesures. Ainsi, dans le cas du Sahel, un événement climatique aride pluriannuel à séculaire se remarquera le plus souvent par une lacune de dépôt et d'érosion des dépôts palustro-lacustres antérieurs ainsi qu'éventuellement, par un dépôt de sables éoliens azoïques (Durand et Lang, 1986). Cette lacune ou le dépôt de ces sables ne pourront donc être datés que par les dépôts qui les encadrent et qui sont susceptibles de contenir des matériaux "datables" par le radiocarbone. Or, la durée d'un événement mesurée par cette méthode ne peut être inférieure à sa marge d'erreur qui est le plus souvent d'au moins un siècle, soit la durée minimale prêtée aux crises climatiques. Ainsi, dès que l'anomalie est suffisamment intense pour provoquer une lacune, elle risque d'être confondue avec une crise climatique.

c) **Conséquences.** L'anomalie semble bien être une crise élémentaire qui passerait inaperçue le plus souvent dans les formations géologiques. Soit parce que ses

conséquences ne seraient pas enregistrées par le géosystème, du fait qu'elles ne sont pas assez intenses pour l'affecter suffisamment et franchir le seuil d'enregistrement. Soit, au contraire, parce que ses conséquences seraient bien enregistrées, mais se confondraient alors avec celles d'une crise climatique, notamment par la durée. Outre les caractéristiques propres au géosystème enregistreur, l'intensité du dérèglement climatique conditionne donc son enregistrement et semble un meilleur critère distinctif que sa durée.

1. 3. Valeur stratigraphique des crises climatiques ?

a) **En fonction de leur nature et de leur extension géographique.** Rognon (1983 et 1984) identifie les crises par leur durée ainsi que par le principal paramètre climatique affecté : crises d'aridité ou de pluviosité excessive et crises thermiques. Les variations climatiques se conformant aux contraintes géographiques des climats, on peut reconnaître des crises contemporaines mais de nature différente selon la latitude et la longitude. Selon Rognon (1983c-d et 1984), les crises auraient donc une extension spatiale limitée à une région, une portion de continent ou une zone climatique. C'est en cela qu'elles se distingueraient des événements climato-stratigraphiques de portée globale, qui marquent une rupture définitive avec les mécanismes responsables de l'équilibre climatique antérieur, comme par exemple lors du passage d'un climat glaciaire à un climat interglaciaire. Selon Rognon (1984) les crises s'expliqueraient par l'intervention de facteurs géographiques très localisés (émission de poussières volcaniques ou débâcle soudaine de glaces, par exemple), lors de périodes d'extrême instabilité. Elles s'opposeraient ainsi aux évolutions à long terme, lentes et régulières, où interviendraient des causes globales comme les contraintes orbitales.

Pour ces raisons, Rognon, (1984) refuse d'accorder toute valeur stratigraphique, autre que régionale, aux crises climatiques. Il critique ainsi la démarche des géographes et des préhistoriens qui avaient mis en corrélation différents épisodes humides à l'échelle du continent africain, créant la notion de "Pluvial" qui est pour cet auteur "...un non-sens climatologique..." (id. p. 1187). On peut remarquer néanmoins qu'il adopte une démarche inverse tout aussi discutable lorsqu'il suggère qu'une crise d'aridité affectant le Tchad vers 7500 ans B.P. puisse être décalée dans le temps et affecter le Mali entre 6400 et 5400 ans B.P., puis le Rajasthan après 5000 ans B.P. seulement (Rognon, 1983a). Il nous semble en effet, qu'accorder une importance prépondérante à la nature de la crise risque d'aboutir à

une confusion du même type que celle qui peut survenir entre faciès pétrographique et étage stratigraphique.

b) En fonction de leur intensité (Durand et Lang, 1991). Compte tenu de leur durée, les anomalies et les crises climatiques proviennent d'un déséquilibre énergétique temporaire mettant en cause la totalité des enveloppes externes de la Terre. Même d'origine locale, un tel déséquilibre est donc répercuté globalement, mais compte tenu des relations très complexes entre les différents éléments du climat par le jeu des téléconnexions, ce déséquilibre aura des conséquences régionales très diverses. Il se marquera ici par une variation de température, là par une variation de pluviosité ou encore par une modification du champ de pression et donc des vents. La nature du paramètre climatique le plus affecté régionalement par la crise n'a donc pas plus de valeur stratigraphique qu'un faciès.

Par ailleurs, nous avons vu que c'est l'intensité des événements climatiques à l'origine qui détermine la durée de leurs effets et la possibilité de leur enregistrement géologique, ce dernier dépendant également du milieu affecté. Un événement climatique bien qu'ayant une extension globale peut ne pas avoir une intensité suffisante pour affecter "efficacement" l'équilibre des milieux naturels sur l'ensemble du globe; dans ce cas il ne se remarquera que localement, dans des milieux en équilibre précaire comme le Sahel. La distinction entre anomalies et crises climatiques résulterait donc de l'extension géographique de l'enregistrement sédimentaire de leurs conséquences et non de celle de l'événement enregistrable lui-même. La valeur stratigraphique des crises climatiques n'est donc fonction que de l'abondance, de la dispersion géographique et de la précision chronologique des données. Le Tardiglaciaire va nous permettre d'illustrer ces problèmes.

2. LES CRISES CLIMATIQUES DU TARDIGLACIAIRE AU CENTRE DU BASSIN DU TCHAD (14,000-9500 ans ¹⁴C B.P.)

2. 1. Introduction

Ce paragraphe est le résultat de très nombreuses discussions avec Françoise Gasse que nous remercions ici. Il fait l'objet d'une note en préparation dont nous avons volontairement conservé la concision. En effet, il nous a semblé inutile de discuter en détail les conclusions paléoclimatiques des travaux antérieurs lorsqu'elles reposaient en grande partie sur des faits que nous avons réfutés précédemment. C'est le cas, en particulier, pour celles qui admettent au Quaternaire une permanence du cadre géographique, et notamment

topographique, au centre du bassin, ce qui est en contradiction avec nos observations au Niger tant sur le niveau du paléolac Tchad que sur l'importance de la néotectonique. C'est également le cas des hypothèses sur les pluies fines (Maley, 1981 et 1982) dont nous avons vu que la chronologie est contestable, ainsi, surtout, que l'interprétation hydropédologique associant vertisols et infiltration. Aussi, le point de départ de notre réflexion réside-t-il essentiellement dans les travaux antérieurs rapportant l'observation de phénomènes liés au froid : structures sédimentaires rapportées à de la cryoturbation (Servant, 1973) et présence de Diatomées qualifiées de psychrophiles dans certains niveaux (Servant-Vildary, 1978).

2. 2. Problèmes climatostratigraphiques

a) Travaux antérieurs. Le premier, Servant (1973) proposa de mettre en corrélation les fluctuations hydrologiques observées au centre et au Nord du bassin du Tchad pendant le Tardiglaciaire, avec les variations climatiques observées en Europe du Nord (Iversen, 1954). Ainsi, les épisodes palustres et lacustres étaient mis en corrélation avec les réchauffements du Bölling (13,000-12,000 ans ¹⁴C B.P.), de l'Alleröd (11,800-11,000 ans ¹⁴C B.P.) et du Préboréal (10,000-9000 ans ¹⁴C B.P.), alors que les baisses de niveaux lacustres et les assèchements étaient mis en corrélation avec les refroidissements de l'Older Dryas (12,000-11,800 ans ¹⁴C B.P.) et du Younger Dryas (11,000-10,000 ans ¹⁴C B.P.) (cf. synthèse chronologique in Mangerud *et al.*, 1974 ; et Lowe et Gray, 1980).

Néanmoins, les hausses des niveaux lacustres étaient expliquées à la fois par une forte baisse de l'évaporation due à des températures plus basses qu'aujourd'hui, et par des pluies liées à de fréquentes advections de masses d'air polaire boréal vers l'équateur (cf. Leroux, 1980). Ces pluies, bien réparties dans l'année, se seraient ajoutées aux pluies estivales, favorisant la permanence de la végétation et l'infiltration (Servant, 1973 ; Servant-Vildary, 1978; Maley, 1981). Compte tenu du réchauffement observé en Europe pendant ces périodes de hauts niveaux lacustres dans le bassin du Tchad, les indications de froid dans ce dernier étaient donc considérées comme des particularités climatiques régionales (Servant, 1973). Cette interprétation était compatible avec celle de la contemporanéité de crises climatiques d'extension spatiale limitée et de nature différente (Rognon, 1983 et 1984).

b) Nouvelles données. Des travaux récents indiquent une extension globale des variations climatiques du Tardiglaciaire dont on avait d'abord pensé qu'elles ne concernaient que l'Europe du Nord et l'Atlantique Nord (Rind *et al.*, 1986 ; Heusser et Rabassa, 1987 ; Kallel *et*

al., 1988 ; Kudras *et al.*, 1991). Dans ce contexte global, les particularités thermiques du bassin du Tchad posent problème. S'agit-il bien d'un mécanisme climatique particulier et strictement régional ? Ne s'agit-il pas plutôt de problèmes stratigraphiques habituels aux dépôts continentaux où les seuils d'enregistrement et les lacunes s'ajoutent aux difficultés méthodologiques pour établir une chronologie climatique précise (Karrow, 1989 ; Durand et Lang, 1991). Pour répondre à ces questions, il est nécessaire d'établir la chronologie la plus précise possible des fluctuations hydrologiques au centre du bassin du Tchad, en tenant compte de la diversité des géosystèmes enregistreurs.

2. 3. Diversité des géosystèmes enregistreurs

Nous disposons de plus d'une centaine de coupes situées dans la zone sahélienne actuelle (100-500 mm/an) au centre du bassin du Tchad, et 15 d'entre elles (fig. 124 et tabl. 14) ont fourni des datations pour la période située entre 13,000 et 9000 ans ¹⁴C B.P. Pour l'essentiel, ces coupes concernent des géosystèmes dont le fonctionnement est maintenant bien connu (*cf. supra*) et qui vont nous apporter des renseignements complémentaires sur les fluctuations hydrologiques. Ces coupes se répartissent en trois groupes : le lac Tchad, la bordure méridionale du Manga et la zone du seuil du Bahr El Ghazal (fig. 125).

***La zone du lac Tchad.** Les coupes étudiées sont situées d'une part immédiatement au Sud du lac actuel, dans l'axe des écoulements du Chari (Durand et Mathieu, 1979-1980 et fig. 56), et d'autre part dans la zone la plus basse de la cuvette sud actuelle (Dupont et Fraquet, 1972 ; Maley, 1981). Il s'agit donc dans les deux cas de coupes enregistrant des apports fluviaux venant du Sud du bassin, même en période aride (fig. 125). Par ailleurs, nous disposons de coupes situées sur la bordure nord-ouest de la cuvette nord actuelle (Durand *et al.*, 1984 ; Gasse, 1987 ; fig. 98). Il s'agit là de coupes susceptibles d'avoir enregistré des apports lacustres en période humide, par débordement de la cuvette sud, ou des apports fluviaux par la Komadugu Yobe (fig. 125).

***La bordure méridional du Manga.** Cette zone qui constitue un plateau sableux (fig. 98), est hors d'atteinte de toute transgression éventuelle du lac Tchad, et à l'écart du réseau hydrographique (Durand *et al.*, 1984 ; Gasse, 1987 ; Téhet *et al.*, 1990). Mais la nappe phréatique, alimentée par les précipitations locales, peut y affleurer dans les anciens creux interdunaires, selon un gradient NW-SE (Pirard, 1962 et 1964 b et c). Certaines de ces mares, telle Bougdouma (fig. 124.6), étaient même permanentes avant la sécheresse récente (fig. 125.6). Par ailleurs, certains de ces creux inter-

dunaires peuvent également enregistrer un ruissellement local. C'est le cas de Jajiri (fig. 124.4) exceptionnellement situé au pied de l'un des très rares pointements du socle dans cette région (fig. 98 et 125). C'est le cas également de Mainé-Soroa (fig. 124.9) situé dans un des couloirs qui canalisent les eaux de ruissellement sur le talus situé entre le plateau du Manga et la plaine du Kadzell (fig. 98 et 125).

***La zone du seuil du Bahr El Ghazal.** Compte tenu du drainage général vers les Bas-Pays (fig. 23), mais dans un cadre topographique qui resterait à préciser en raison de la néotectonique, cette zone a pu recevoir des eaux du lac, tant en surface que par la nappe phréatique. En raison précisément de ce drainage général, la nappe est souvent relativement proche de la surface (Chouret *et al.*, 1977) et son alimentation par la pluviosité locale a pu l'amener facilement à l'affleurement dans les dépressions interdunaires les plus basses (fig. 125).

2. 4. Fluctuations hydrologiques au Tardiglaciaire

Seul un essai de synthèse est présenté ici. Pour plus de précisions on se reportera aux travaux cités

a) La zone du lac Tchad.

***Au Sud du lac,** après l'aride kanémien, une première élévation du niveau lacustre a été déduite de la présence de dépôts palustres marno-argileux recouvrant des dépôts fluviaux sablo-argileux à Tourba A, près de la bordure sud du lac actuel (fig. 124.1 et 126.A). Ces marnes ont été datées de $12,930 \pm 600$ ans ¹⁴C B.P. (Durand et Mathieu, 1979-1980). Nous proposons de les mettre en corrélation avec un mince niveau d'argilites silteuses, premier dépôt lacustre observé dans la zone la plus profonde de la cuvette sud actuelle, au-dessus des sables éoliens du Kanémien (Yakoua-Mandi H, fig. 125.3 et 126.A). Ce dépôt est plus ancien que 9835 ± 135 ans ¹⁴C B.P. (Dupont et Fraquet, 1972). Au Sud, près du Chari (fig. 124.2 et 125.2), des concrétions carbonatées ont été datées de $12,600 \pm 400$ ¹⁴C B.P. (Durand et Mathieu, 1979-1980). La teneur en ¹³C (tabl. 14) indique qu'elles se sont formées en relation avec la nappe phréatique qui était alors environ 20 m plus haute qu'aujourd'hui (fig. 60). Cette date est considérée comme proche de l'âge réel des concrétions, compte tenu du renouvellement rapide des eaux au toit de la nappe alimentée par le Chari (Chouret *et al.*, 1977). Dans la même région (Kéréféné, fig. 124.8 et 126.A), des sables calcaires coquilliers ont été datés sur coquilles de $11,300 \pm 230$ ans ¹⁴C B.P. et sur dépôts carbonatés de $11,200 \pm 230$ ans ¹⁴C B.P. (Durand et Mathieu, 1979-1980). La malacofaune comportait *Melania tuberculata* Muller, *Bulinus* sp., *Gyraulus costulatus* Krauss et *Limnea natalensis* Krauss. Une telle faune a été observée sur le littoral lacustre actuel

(Lévêque, 1972) et dans des milieux aquatiques peu profonds et stagnants, comme les marécages des plaines d'inondation du Chari (Lévêque, 1980).

*Sur la bordure nord-ouest du lac actuel, à Bwori (fig. 124.7 et fig. 126.A) des sables argileux, d'extension latérale très limitée, sont attribués à des apports de la Komadugu Yobe. Ces dépôts fluviatiles reposent sur des sables éoliens attribués au Kanémien. Ils sont recouverts par un mince niveau de marnes sableuses coquillière datée sur coquilles de $11,435 \pm 200$ ans ^{14}C B.P. La microflore de ces marnes indique, un milieu aquatique très peu profond avec une salinité élevée ou fluctuante (Durand *et al.*, 1984). A cette époque, Bwori était probablement une dépression isolée occupée par un marécage salé, situation aujourd'hui encore fréquente sur la bordure NE du lac Tchad (Iltis, 1974). Des conditions plus humides sont ensuite enregistrées sur toute la bordure du Kazzell avec des dépôts de marnes sableuses coquillières (fig. 124.7, 10 et 11 et fig. 126.A). Ces dépôts ont été datés à leur base de $10,660 \pm 300$ ans ^{14}C B.P. sur coquilles et $10,650 \pm 200$ ans ^{14}C B.P. et $10,610 \pm 230$ ans ^{14}C B.P. sur carbonates inorganiques et à leur sommet de $10,340 \pm 120$ ans ^{14}C B.P. sur carbonates et $10,265 \pm 300$ et $10,200 \pm 200$ ans ^{14}C B.P. sur coquilles (Durand *et al.*, 1984; Gasse, 1987; Fontes et Gasse, 1991; *cf. supra* pour les problèmes de remaniements). Les Diatomées

indiquent alors à Arikou Kouri (fig. 111) l'existence d'une mare permanente dont les eaux fluctuaient de douces à mesohalines, peut-être en liaison avec des apports fluviatiles saisonniers ou des variations de la nappe phréatique (Gasse, 1987). Il n'est pas possible de dire si cette mare était ou non en connexion avec un éventuel paléolac Tchad.

*L'ensemble de la zone lacustre actuelle enregistre au cours de la période 10,200-9400 ans ^{14}C B.P. des bas niveaux. Aucun dépôt palustre n'a été observé sur la bordure nord-ouest du lac. Par contre un paléosol a été daté de 9930 ± 240 ans ^{14}C B.P. à Bwori (fig. 126.A). Dans la zone la plus profonde de la cuvette sud, un niveau tourbeux surmontant les premiers dépôts palustro-lacustres, passe latéralement à des sables éoliens (fig. 126.A). Il a été daté de 9835 ± 135 ans ^{14}C B.P. (Dupont et Fraquet, 1972). Dans l'embouchure du Bahr El Ghazal (Kouka, fig. 124.14) une autre tourbe a été datée de 9690 ± 210 ans ^{14}C B.P. (Maley, 1981). Le contenu pollinique de ces deux tourbes reflète un contexte de marécage d'eau douce. Par comparaison avec les dépôts sous-jacents, Maley (1981) déduit une décroissance très importante des apports du Chari puis de la pluviosité locale.

Le retour de l'eau est enregistré sur la bordure nord-ouest du lac (fig. 124.10 et 11 et fig. 126.A) par un niveau de marnes sableuses datées de 9420 ± 250 et

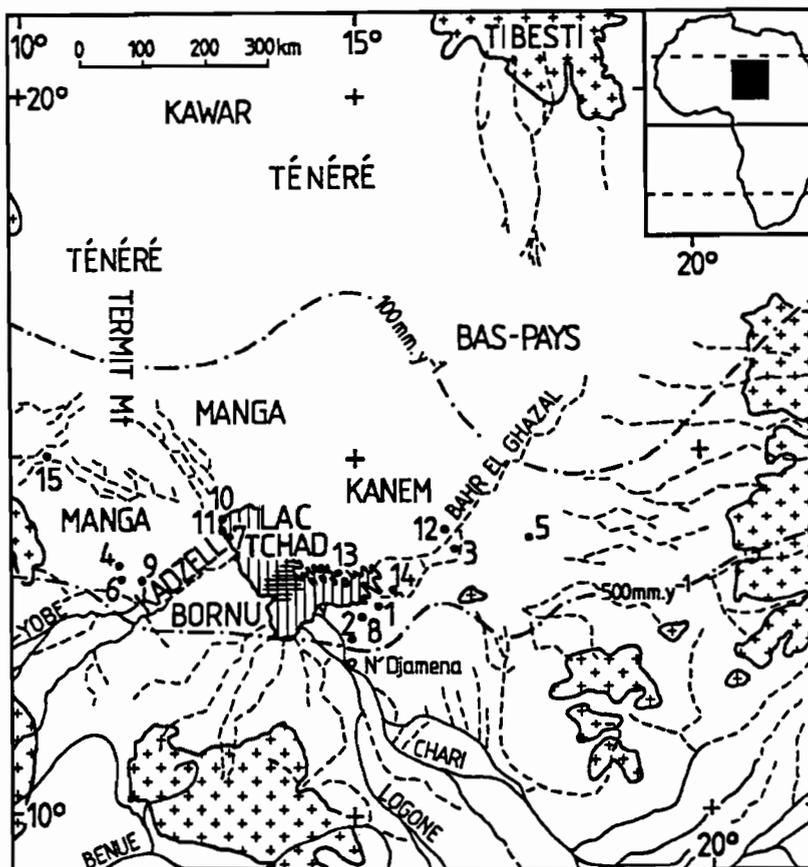


Fig. 124. Localisation des coupes ayant fourni des datations pour le Tardiglaciaire (13,500-9500 ans ^{14}C BP). Le contour du Lac Tchad est figuré ici à son niveau moyen de 281,8 m. Les deux cuvettes lacustres sont séparées par un seuil vers 279,5 m, la "Grande Barrière", figurée ici en hachures. 1-15 : coupes ayant fourni des datations (*cf.* tableau 14).

9210 ± 150 ¹⁴C B.P. (Durand *et al.*, 1984). A Arikou Kouri, des Diatomées planctoniques abondantes (fig. 111), indiquent un niveau plus haut que les précédents, sans que l'on puisse toutefois prouver une connexion avec un éventuel paléolac Tchad (Gasse, 1987).

b) Le Manga méridional.

*Dans la dépression interdunaire de Bougdouma (fig. 124.6 et 126.B), environ 4 mètres de dépôts aquatiques, apparemment continus, recouvrent des sables éoliens (Téhet *et al.*, 1990; Gasse *et al.*, 1990). Les teneurs en ¹⁸O indiquent un apport soudain d'eau de la nappe phréatique qui amène la formation d'une mare salée permanente, peut-être vers 12,600 ans ¹⁴C B.P. par extrapolation (fig. 126.B). Puis, après un niveau de sable éolien correspondant à un retour de l'aridité, une nouvelle remise en eau, antérieure à 12,000 ans ¹⁴C B.P., aboutit à un milieu aquatique permanent mais très peu profond. La nappe remonte à 12,000 ± 325 ans ¹⁴C B.P. et alimente une mare temporaire à salinité fluctuante et subissant une forte évaporation. Le rapport entre les apports par la nappe et la reprise par l'évaporation décroît progressivement jusque vers 11,000 ans ¹⁴C B.P. (date interpolée). Puis une nouvelle remontée de la nappe est enregistrée à 10,855 ± 200 ans ¹⁴C B.P. et favorise une abondante microflore planctonique d'eau diluée. Cette microflore est remplacée entre 10,300 et 10,000 ans ¹⁴C B.P. environ (dates interpolées) par des Diatomées littorales d'eau salée reflétant un quasi assèchement de la dépression. La reprise des conditions humides s'amorce dès 10,000 ans ¹⁴C B.P. (Téhet *et al.*, 1990). Elle conduit rapidement à l'installation d'une microflore planctonique d'eau douce, soit avant 9410 ± 140 ans ¹⁴C B.P., peut-être vers 9700 ans ¹⁴C B.P. par interpolation (Gasse *et al.*, 1990).

*A Jajiri (fig. 124.4 et 126.B), située environ à 30 km au Nord de Bougdouma et 3 mètres plus haut, un premier épisode palustre est daté de 12,075 ± 400 ans ¹⁴C B.P. (Durand *et al.*, 1984). Il s'agit d'éléments centimétriques d'une mince couche calcaire fragmentée par l'érosion, contenant de rares ostracodes et recouvrant 13 mètres de sables éoliens. Ces derniers contiennent à leur sommet des graviers provenant du pointement éruptif proche et qui attestent d'un ruissellement local notable antérieur à l'établissement de la mare (fig. 98, fig. 125 et 126.B). Le niveau à fragments calcaires est recouvert par un paléosol, puis par un second dépôt palustre consistant en un mince niveau d'argile silto-sableuse (fig. 126.B). Nous pensons que ces deux minces niveaux palustres correspondent aux épisodes de remontée de la nappe phréatique, épisodes beaucoup mieux enregistrés au Sud à Bougdouma vers 12,000 ± 325 et 10,855 ± 200 ans ¹⁴C B.P. La zone de Jajiri pouvait donc être proche à cette époque de la limite d'affleurement de l'aquifère, comme l'est toujours Bougdouma aujourd'hui (fig. 125).

*Mainé-Soroa est situé dans un couloir interdunaire, sur la pente du plateau du Manga vers la plaine du Kadzell (fig. 98 et 125). Cette situation y favorise le ruissellement, au contraire de Bougdouma qui est une dépression isolée dans le plateau du Manga. Un premier milieu aquatique est enregistré par des arenites à ciment calcaire reposant sur des sables éoliens (fig. 126.B). A la base de ces arenites, des Diatomées périphtiques indiquent un milieu aquatique très peu profond, peut-être temporaire, évoluant de meso à hyperhalin (Gasse, 1987). Puis, vers le sommet, les Diatomées d'eau douce se développent progressivement, indiquant des conditions plus oligohalines. On note cependant une augmentation progressive et concomitante de la teneur

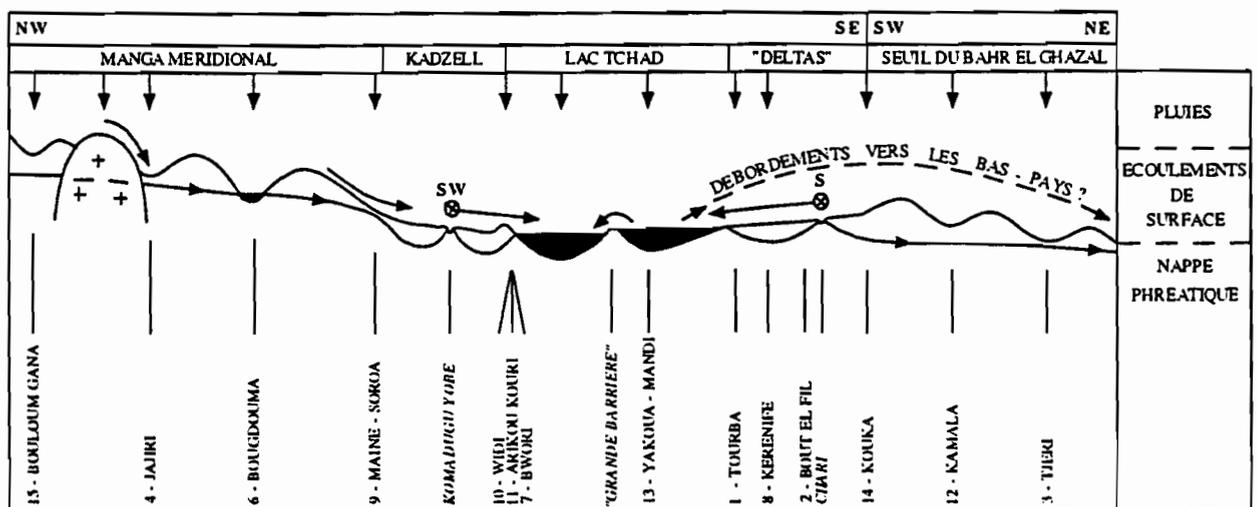


Fig. 125. Représentation extrêmement schématique des conditions actuelles d'alimentation en eau des différents géosystèmes analysés dans le centre du bassin du lac Tchad. Les échelles verticales et horizontales ne sont pas respectées. Localisations figure 124.

des dépôts en sables (fig. 110°). Ces sables sont attribués aux apports par le ruissellement. La dilution des eaux de surface pourrait donc être attribuée à une augmentation de la fréquence ou de l'intensité du ruissellement et donc des pluies (Gasse, 1987). Le bilan hydrologique reste cependant insuffisant pour permettre le développement d'un lac. Les Diatomées disparaissent et le dépôt devient majoritairement sableux, indiquant l'assèchement du marécage après $12,700 \pm 600$ ans ^{14}C B.P. Nous avons vu qu'un second épisode humide a été enregistré par des carbonates diagenétiques, attribués à une remontée de la nappe phréatique, datée de $10,760 \pm 70$ ans ^{14}C B.P. (fig. 126.B).

c) **La zone du seuil du Bahr El Ghazal au Kanem méridional.** Nous utilisons ici deux coupes, Tjeri et Kamala (fig. 124.3 et 12, fig. 125 et 126.B) qui ont été étudiées par Servant (1973), Servant-Vildary (1978) et Maley (1981).

*A Tjeri (fig. 126.B) un premier dépôt palustre très peu épais est enregistré par une diatomite sableuse. Les Diatomées indiquent une mare natronée (Servant-Vildary, 1978) et les pollens caractérisent un environnement sahélien à courte saison des pluies (Maley, 1981). Des concrétions siliceuses, caractéristiques des conditions évaporitiques régnant lors de l'assèchement d'un tel milieu (Icole *et al.*, 1983; Icole et Perinet, 1984), soulignent la fin de cet épisode dans toute la région (Servant, 1973). Cette fin a été datée de $12,500 \pm 220$ ans ^{14}C B.P. sur matière organique (Maley, 1981). Après une intercalation sableuse (R1, fig. 126.B), un deuxième épisode palustro-lacustre, de plus grande ampleur que le précédent, est daté de $11,740 \pm 150$ ans B.P. dans sa partie inférieure (Servant, 1973). C'est dans ces dépôts qu'un niveau centimétrique, surmontant le niveau daté, a fourni une association de Diatomées qualifiées de psychophiles, c'est-à-dire préférant vivre dans des eaux "fraîches" (Servant-Vildary, 1978). En fait, les données climatiques que peuvent fournir ces Diatomées (12 espèces et 4% du total) doivent être maniées avec précaution, car elles pourraient refléter aussi bien une bonne oxygénation et un pH acide que des eaux froides (Servant-Vildary, 1978, p. 264-265 et 272-273). Nous y reviendrons.

Après une seconde intercalation sableuse (R2, fig. 126.B), on observe 2,5 m. de dépôts diatomitiques. Ces dépôts ont enregistré un troisième épisode lacustre encore plus profond que le précédent, malgré une baisse de niveau provisoire vers le tiers inférieur (R3, fig. 126.B; Servant-Vildary, 1978). L'épisode se termine par une baisse allant jusqu'à l'émersion (R4, fig. 126.B) avant 9000 ± 200 ans B.P. (Servant, 1973).

*A Kamala (fig. 126.B) recouvrant des sables éoliens, on observe les dépôts diatomitiques d'un lac dont le niveau maximum est daté de $10,100 \pm 250$ ans ^{14}C B.P. (Servant, 1973). Ce lac était peu profond et ne s'est pas développé. Les dépôts sont pauvres en Diatomées planctoniques mais riches en espèces épiphytes ou benthiques dont certaines indiquent des eaux fortement concentrées en sels ; par contre on observe un développement d'espèce dite psychophiles: *Cymbella angustata*, *C. cistula*, *C. cesatii* (Servant-Vildary, 1978, p. 127-129, fig. II.18). Une régression de ce lac (R3, fig. 126.B) aboutit d'abord à un assèchement total, puis à l'installation d'une mare subissant des assèchements temporaires, qui laisse enfin la place à une mare occasionnelle envahie par les graminées (Servant-Vildary, 1978, p. 327). Pendant cette phase régressive, la végétation sahélienne était bien installée dans la région (Maley, 1981 p. 271). Néanmoins, à la fin de la régression, l'élément sahélien diminue notablement tant en nombre de pollens que de taxons (Maley, 1981, p. 274-275). Les pollens allochtones septentrionaux faiblement représentés vers 10,000 ans ^{14}C B.P. (0,2 à 0,3 %) disparaissent totalement et les pollens soudano-guinéens passent de 1 à 0,04 %. Maley (1981, p. 278) conclut donc à l'existence d'une brève période très aride. Un second épisode lacustre est daté à la base de 9610 ± 155 ans ^{14}C B.P., alors que la dépression fonctionnait en saline. Ce lac s'est développé rapidement et, après une baisse de niveau provisoire enregistrée par une intercalation sableuse (R4, fig. 126.B), il s'est stabilisé à un très haut niveau enregistré par les diatomées à l'Holocène inférieur (Servant-Vildary, 1978).

Le premier épisode lacustre de Kamala correspondrait seulement à la première partie du troisième épisode de Tjeri (fig. 126.B). L'explication la plus probable est d'attribuer ce décalage à la situation privilégiée de Tjeri (fig. 124 et 125). Cette dernière dépression est plus près de l'axe de drainage du Bahr El Ghazal et la nappe phréatique y est plus haute de quelques mètres (Pias, 1970 ; Servant, 1973 ; Chouret *et al.*, 1977). Nous pensons donc qu'en cas de période humide la nappe phréatique aurait affleuré plus rapidement à Tjeri qu'à Kamala. On pourrait également penser à une déflation éolienne ayant fait disparaître à Kamala les dépôts d'épisodes aquatiques antérieurs. Mais cette hypothèse nous semble peu probable. En effet, nous avons vu que, dans cette région, des concrétions silicatées apparaissent à la fin des phases régressives. Il s'agit notamment de rognons amiboïdes qui résistent très bien à la déflation et constituent alors une sorte de reg (Servant, 1973 ; Maglione, 1976 ; Icole *et al.*, 1983). De tels silicates n'ont pas été observés à Kamala.

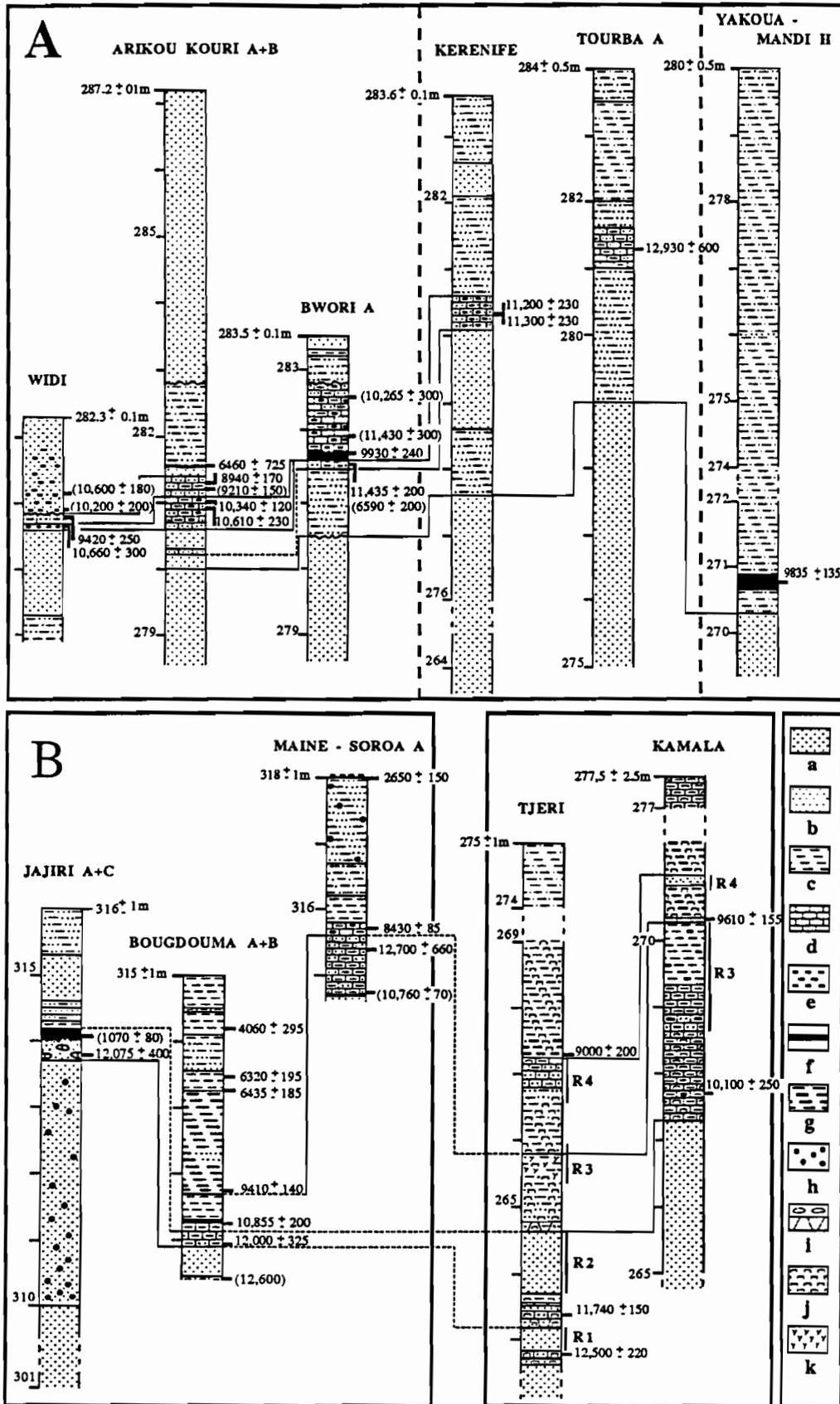


Fig. 126. Coupes dans la région du Lac Tchad (A), le Manga méridional et le Kanem (B). Les datations entre parenthèses se rapportent à des coquilles remaniées ou à des carbonates diagénetiques. Légendes lithologiques: a: sables, b: silts; c: argiles, d: carbonates, e: coquilles; f: tourbes ou paléolsols; g: sapropèles; h: graviers; i sup.: concrétions ou fragments de niveaux carbonatés; i inf.: bréchification; j: diatomites; k: concrétions siliceuses tubulaires, R1 à R4: fluctuations hydroclimatiques négatives d'après Servant-Vildary (1978). Lithologie des coupes du Kanem d'après Servant (1973).

2. 5. Chronologie des événements climatiques

a) Au centre du bassin du Tchad.

*Les données sont encore rares sur le paléolac Tchad lui-même, considéré comme un indicateur indirect de la pluviosité au Sud du Bassin, en zone soudanienne et soudano-guinéenne. Seuls le début et la fin des épisodes lacustres du Tardiglaciaire ont été clairement remarqués, dans la cuvette sud, et nous n'avons aucune donnée attestant avec certitude l'existence du paléolac Tchad dans la cuvette nord. Les données paléoécologiques y indiquent plutôt des plans d'eau indépendants et de dimensions réduites. Par ailleurs, compte tenu du nivellement relativement précis ($\pm 0,1$ m) que nous avons réalisé dans cette région, les altitudes actuelles des dépôts palustro-lacustres (fig. 126) permettent difficilement d'envisager l'existence d'un paléolac Tchad atteignant un niveau suffisant pour franchir le seuil actuel du Bahr El Ghazal (286 m). Si les indications d'écoulements du lac dans le Bahr El Ghazal étaient confirmées (Maley, 1981), il faudrait envisager une modification postérieure de la topographie entre les deux cuvettes du lac. Compte tenu de l'existence de phénomènes néotectoniques observés par ailleurs, ceci n'est pas impossible. Autrement dit, on pourrait admettre au Tardiglaciaire des écoulements du paléolac Tchad dans le Bahr El Ghazal, mais avec un seuil d'écoulement différent. Cela n'aurait pas les mêmes implications hydroclimatiques qu'aujourd'hui vis-à-vis du volume lacustre, et donc du rapport P/E requis pour de tels écoulements.

*Au Manga méridional et dans la zone du seuil du Bahr El Ghazal au Kanem, nous avons reconnu quatre fluctuations hydrologiques positives attribuables aux variations de la pluviosité locale. Leur enregistrement est directement liée au fonctionnement des géosystèmes enregistreurs. En effet, ces quatre fluctuations se remarquent d'autant mieux lorsqu'elles sont séparées par des fluctuations hydrologiques négatives (R1 à R4 fig. 126.B) mises en relief par le contexte topographique et hydrologique. Ainsi la sédimentation aquatique peut apparaître continue (Bougdouma) ou très discontinue (Jajiri) ou régulièrement séparée par les phases régressives et les assèchements (Tjeri) (fig. 127.A). La première fluctuation hydrologique positive est datée entre 13,000 et 12,000 ans ^{14}C B.P. environ avec des variations mineures correspondant probablement à des différences locales dans les conditions d'élévation de la nappe phréatique. La seconde fluctuation débute avant 11,700 ans ^{14}C B.P. et se termine après 11,200 ans ^{14}C B.P. Ensuite, le Nord-Ouest du lac Tchad, a particulièrement bien enregistré la troisième fluctuation entre

10,700 et 10,300 ans ^{14}C B.P. Enfin, la quatrième fluctuation qui débute vers 9600 ans ^{14}C B.P. correspond à un changement hydrologique majeur. C'est le début d'une période de hauts niveaux lacustres dans toute l'Afrique nord-équatoriale (Maley, 1981 ; Street-Perrott et Roberts, 1983 ; Petit-Maire, 1989). C'est à cette époque qu'au Nord-Ouest du bassin du Tchad, apparaît une civilisation néolithique ancienne à céramique, datée entre 9550 ± 100 et 9000 ± 120 ans ^{14}C B.P. (Roset, 1987).

b) Le problème du Younger Dryas.

*Dans le bassin du Tchad. Nous constatons donc une similitude entre la chronologie des fluctuations hydroclimatiques que nous venons d'établir au centre de ce bassin, et celle des variations de la température en Europe (Mangerud *et al.*, 1974 ; Lowe et Gray, 1980). Cependant la dernière période de refroidissement important en Europe, le "Younger Dryas", datée conventionnellement entre 11,000 et 10,000 ans ^{14}C B.P. nécessite une analyse plus détaillée. En effet, au centre du bassin du Tchad, nous avons noté deux fluctuations hydrologiques négatives vers 11,200 - 10,700 et 10,300 - 9600 ans ^{14}C B.P., séparées par une fluctuation positive, brève mais incontestable, entre 10,700 et 10,300 ans ^{14}C B.P. (Gasse *et al.*, 1990 ; Téthet *et al.*, 1990 ; fig. 127.A). Ceci ne fait que confirmer et expliciter des observations antérieures de Servant (1973) dans la moitié nord du bassin du Tchad où l'importante régression lacustre mise en corrélation avec le Younger Dryas avait un âge très variable : après $10,620 \pm 390$ et avant 8770 ± 170 ans ^{14}C B.P. dans le Ténére, peu avant 9380 ± 150 ans ^{14}C B.P. à Termit, entre $10,900 \pm 300$ et $10,100 \pm 230$ ans ^{14}C B.P. au Nord du Bahr El Ghazal, après $10,100 \pm 250$ et avant 9610 ± 155 ou 9000 ± 200 ans ^{14}C B.P. dans la zone du seuil du Bahr El Ghazal (Servant, 1973).

*Dans les dépôts continentaux de l'hémisphère nord. Cet âge variable du Younger Dryas n'est pas restreint au bassin du Tchad. Même aux moyennes latitudes, les limites du Younger Dryas présentent fréquemment des décalages importants par rapport à ses limites conventionnelles (Watts, 1980). Ainsi, par exemple, la fin du Younger Dryas est datée comme antérieure à $10,690 \pm 250$ ans ^{14}C B.P. en Alaska, mais postérieure à 9780 ± 220 ans B.P. dans les Pyrénées (Reille, 1990). De telles données, de plus en plus nombreuses, accréditent en fait l'hypothèse d'un Younger Dryas comportant plusieurs épisodes. Cette hypothèse n'est pas nouvelle. Ainsi, dans les Alpes du Sud, une phase froide dite de "Piotino" (Zoller, 1960) a été estimée plus froide que le Younger Dryas et lui succédant entre 10,000 et 9400 ans ^{14}C B.P. environ (Müller, 1972). Inversement, l'existence d'une phase

froide plus précoce que le Younger Dryas qui a été décrite en Suisse sous le nom d'"oscillation de Gerzensee" (Eicher et Siegenthaler, 1976 ; Eicher, 1980 ; Oeschger *et al.*, 1984 ; Broecker *et al.*, 1988) vient d'être redécouverte à l'Est du Canada sous le nom d'"oscillation de Killarney, datée entre 11,160 et 10,910 ans ^{14}C B.P. (Levesque *et al.*, 1993). Cette oscillation n'étant enregistrée que par 7 cm de dépôts, Levesque *et al.* (1993) pensent qu'elle était passée inaperçue jusqu'à présent en raison d'un échantillonnage systématique de maille trop large...

*Dans les dépôts marins où la sédimentation est supposée plus continue, on peut espérer un meilleur enregistrement de tels événements. Ainsi, dans l'Atlantique nord au large du Portugal, des travaux ont récemment montré l'existence au milieu du Younger Dryas d'un léger réchauffement (Bard *et al.*, 1987a ; fig. 127.B). Dans une synthèse récente, Broecker *et al.* (1988) ont montré que cette observation semble suffisamment fréquente pour servir de repère. Ils proposent donc de distinguer un "pre-Younger Dryas" ou "Younger Dryas précurseur", période de refroidissement débutant vers 11,500 ans ^{14}C B.P., et un "Younger Dryas principal" qui se terminerait vers 9900 ans ^{14}C B.P.

c) Conclusions. Ainsi, toutes les fluctuations hydroclimatiques négatives enregistrées localement

au Sahel central, correspondent à des refroidissements dans l'hémisphère nord, et les fluctuations positives à des réchauffements. La reconnaissance ou non de deux épisodes froids distincts au sein du Younger Dryas illustre bien les problèmes d'enregistrement sédimentaire évoqués précédemment. Le plus souvent l'un des deux épisodes est probablement, sinon beaucoup plus important, du moins beaucoup mieux enregistré et conservé, ce qui entraînerait l'impression d'un épisode unique et rendrait compte des décalages chronologiques constatés. Dans cette optique, les problèmes d'enregistrements sédimentaires, et notamment l'existence de lacunes, admis *a priori* et donc facilement reconnus dans le domaine continental, paraissent sous-estimés dans le domaine océanique, notamment lors du traitement mathématique des données qui élude ces problèmes (lissage des courbes, moyennes, ajustements polynomiaux). On prendra comme exemple la proposition récente de Broecker (1992) de placer le début du Younger Dryas à 10,800 ans ^{14}C B.P., à partir d'une moyenne des datations marquant le début du refroidissement. Cette proposition est d'autant plus surprenante qu'un décompte annuel véritable et fiable semble sur le point d'aboutir pour le Tardiglaciaire (Taylor *et al.*, 1993). De plus l'existence de plusieurs périodes distinctes au sein du Younger Dryas permet de comprendre de nombreux problèmes

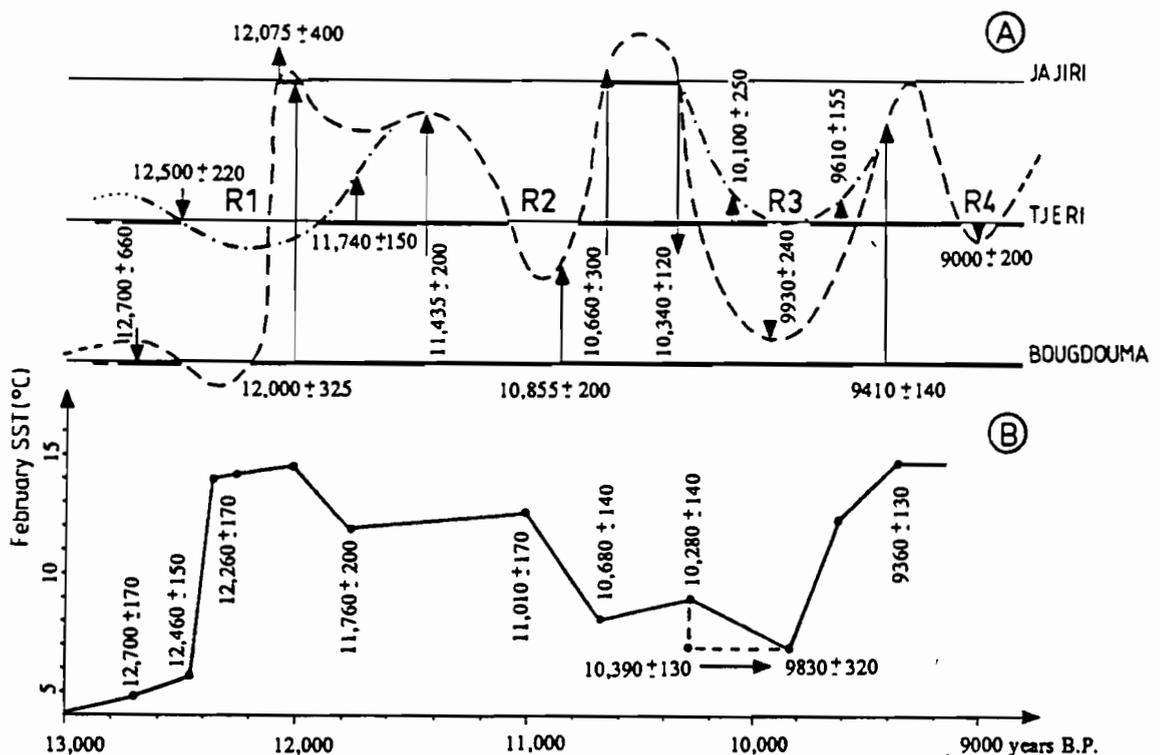


Fig. 127. Comparaison entre les fluctuations hydroclimatiques au Sahel central (A) et les variations de température de surface de l'Atlantique nord (B), d'après BARD *et al.*, (1987a). A : les lignes horizontales indiquent l'enregistrement sédimentaire de l'humidité (traits épais) ou l'absence d'enregistrement (traits minces) qui est fonction du contexte topographique et hydrologique.

Tableau 14. Datations par le radiocarbone disponibles dans la zone sahélienne du bassin du Tchad au Tardiglaciaire. Localisations fig. 124, coupes fig. 126

N°	Sites	Dating materials	¹⁴ C ages (vr B.P.)	δ ¹³ C (‰)	References
1	Tourba A	carbonate	12,930 ± 600	+ 0.88	Durand and Mathieu (1979-1980)
9a	Maine-Soroa A	carbonate	12,700 ± 660	- 0.21	(this work)
2	Bout El Fil	carbonate	12,600 ± 400	- 7.87	Durand and Mathieu (1979-1980)
3a	Tjeri	organic matter	12,500 ± 220		Maley (1981)
4	Jajiri C	carbonate	12,075 ± 400	- 0.73	Durand <i>et al.</i> (1984)
5	Djazena	<i>Biomphalaria</i> sp. and <i>Bulinus</i> sp.	12,060 ± 325		Servant (1973)
6a	Bougdouma A	carbonate	12,000 ± 325	- 3.67	Fontes and Gasse (1991)
3b	Tjeri	carbonate	11,740 ± 150		Servant (1973)
7a	Bwori	gastropods	11,435 ± 200		Durand <i>et al.</i> (1984)
7b	Bwori	gastropods	11,430 ± 300	- 0.60	Durand <i>et al.</i> (1984)
8a	Kerenife	<i>Melania</i> sp.	11,300 ± 230		Durand and Mathieu (1979-1980)
6b	Bougdouma A	carbonate	11,270 ± 140	- 4.18	Fontes and Gasse (1991)
8b	Kerenife	carbonate	11,200 ± 230		Durand and Mathieu (1979-1980)
6c	Bougdouma B	carbonate	10,855 ± 200	- 2.19	Téhet <i>et al.</i> (1990)
9b	Maine-Soroa A	carbonate	10,760 ± 070	- 5.58	Gasse (1987)
10a	Widi	<i>Biomphalaria</i> sp. and <i>Bulinus</i> sp.	10,660 ± 300	- 1.60	Durand <i>et al.</i> (1984)
11a	Arikou Kouri C	carbonate	10,650 ± 200		(this work)
11b	Arikou Kouri B	carbonate	10,610 ± 230	+ 5.42	Fontes and Gasse (1991)
10b	Widi	<i>Melania tuberculata</i>	10,600 ± 180	- 0.85	Durand <i>et al.</i> (1984)
11c	Arikou Kouri B	carbonate	10,340 ± 120	+ 5.70	Fontes and Gasse (1991)
7c	Bwori	<i>Melania tuberculata</i>	10,265 ± 300	+ 0.13	Durand <i>et al.</i> (1984)
10c	Widi	<i>Melania tuberculata</i>	10,200 ± 200	- 0.73	Durand <i>et al.</i> (1984)
12a	Kamala	molluscs	10,100 ± 250		Servant (1973)
7d	Bwori	carbonate	9930 ± 240	+ 3.42	(this work)
13	Yakoua-Mandi	peat	9835 ± 135		Dupont and Fraquet (1972)
14	Kouka	peat	9690 ± 210		Maley (1981)
12b	Kamala	carbonate	9610 ± 155		Servant (1973)
10d	Widi	carbonate	9420 ± 250	+ 5.41	Durand <i>et al.</i> (1984)
6d	Bougdouma B	organic matter	9410 ± 140		Téhet <i>et al.</i> (1990)
11d	Arikou Kouri A	carbonate	9210 ± 150	+ 5.13	Durand <i>et al.</i> (1984)
15	Bouloum Gana	carbonate	9150 ± 200		Faure <i>et al.</i> (1963)
3c	Tjeri	organic matter	9000 ± 200		Servant (1973)
11e	Arikou Kouri B	carbonate	8940 ± 170		Gasse (1987)

paléoclimatiques restés en suspens pour des raisons chronologiques (Fairbanks, 1989 ; Zahn, 1992). Ainsi, s'expliquerait l'observation d'une forte réduction de la formation des eaux profondes de l'Atlantique nord (North Atlantic Deep Water, NADW) juste avant et après le Younger Dryas (Jansen et Veum, 1990), alors qu'elle était attendue au maximum du refroidissement que l'on supposait situé au coeur du Younger Dryas. La réduction correspondrait aux deux phases de refroidissement qui encadrent la phase de réchauffement non remarquée au centre du Younger Dryas.

2. 6. Essai d'interprétation paléoclimatique

a) Rappels sur les mécanismes actuels.

*Circulation thermohaline et circulation atmosphérique sont liées. Les observations réalisées depuis le début du siècle ont montré pour l'océan global que des températures de surface (SST) plus froides que la moyenne au Nord de l'Équateur et plus chaudes que la moyenne au Sud, correspondaient statistiquement à des pluies inférieures à la moyenne au Sahel (Folland *et al.*, 1986). Newell et Hsiung (1987) ont proposé de mettre en relation la baisse de la SST au Nord de l'équateur avec une réduction du transport de chaleur vers le Nord par l'Atlantique. Or, ce transport s'effectue essentiellement à cause du NADW (North Atlantic Deep Water). En hiver boréal le refroidissement des

mers de Norvège et du Labrador provoque un renversement de la convection océanique vers la profondeur, ce qui crée le NADW, froid et salé et donc dense (fig. 128.5). Le NADW se dirige vers le Sud, passe dans l'Océan Indien puis le Pacifique Nord (fig. 129). De là, cette circulation revient en surface dans l'Atlantique par les détroits d'Indonésie puis le Sud de l'Afrique, sous forme d'eau chaude qui constituera le Gulf Stream (fig. 128.1) (*cf.* synthèse in Street-Perrott et Perrott, 1990). Une légère anomalie dans cette circulation peut survenir facilement. Ainsi, l'injection dans les mers de Norvège et du Labrador d'un volume d'eau douce supérieur à la normale (fig. 128.C1 à C4), abaissant la salinité de surface et donc la densité, y stabiliserait la colonne d'eau et réduirait, voire empêcherait la formation du NADW (Broecker *et al.*, 1985 et 1989). En conséquence, le retour de chaleur vers l'Atlantique nord par les courants de surface, destiné à compenser le départ des eaux en profondeur, n'ayant plus lieu d'être, les eaux chaudes s'accumuleraient dans l'Atlantique équatorial et tropical sud. On assisterait donc à un refroidissement relatif de la surface de l'Atlantique nord, par rapport à un réchauffement relatif de la surface de l'Atlantique équatorial et tropical sud (*cf.* synthèse in Street-Perrott et Perrott, 1990). Ces variations se répercuteraient sur la circulation atmosphérique et la pluviométrie en Afrique.

*Rappels sur la circulation atmosphérique en

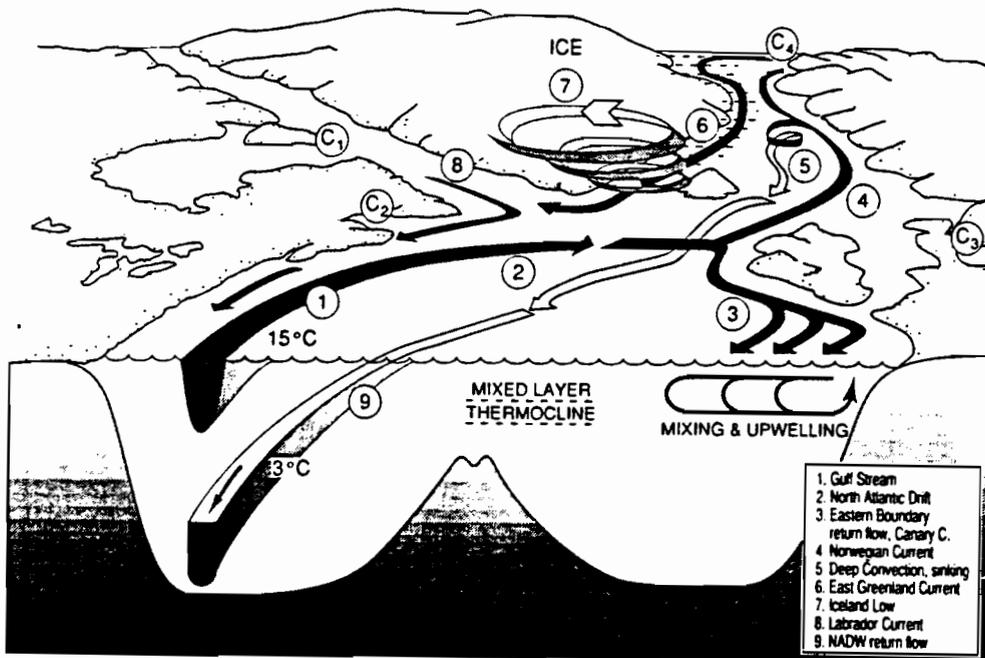


Fig. 128. Formation des eaux profondes de l'Atlantique nord (NADW) (in Berger, 1990).
C1 à C4 : points d'entrée des eaux douces

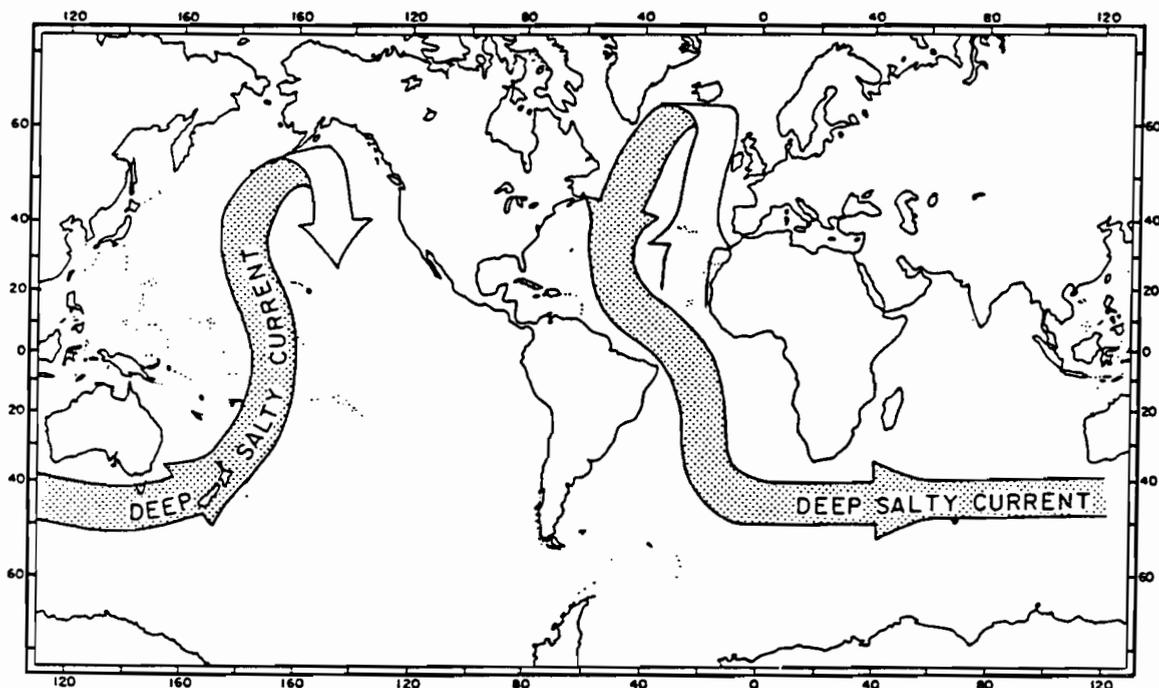


Fig. 129. Circulation thermohaline globale (in Broecker *et al.*, 1988).

Afrique de l'Ouest. Les synthèses les plus récentes (Quilfen, 1987 ; Fontaine, 1989 ; Janicot, 1990) montrent que le phénomène de mousson africaine ne peut plus être réduit à un simple flux de surface qui advecterait une masse d'air relativement frais et humide de l'océan vers le continent. Il s'agit d'une circulation cellulaire très complexe où interfèrent la circulation

méridienne de Hadley et la circulation zonale de Walker (fig. 6, 11 et 12). Les cellules de Hadley répondent au forçage solaire zénithal et enregistrent donc un rythme saisonnier important (fig. 6 et 11). Les cellules de Walker reflètent surtout les forçages transitoires et fluctuants liés à la redistribution de chaleur dans l'atmosphère équatoriale. Plus stables en

position, elles apparaissent plus sensibles aux interactions d'échelles locales et régionales (orographie, végétation, albédo, température et humidité de surface, recyclage des eaux continentales par la végétation, etc...). Ainsi, en raison de sa forme particulière bordée par l'océan, l'Afrique de l'Ouest connaît des contrastes thermiques méridiens accentués. Ceci explique l'apparition estivale dans la circulation de Walker, d'un aérojet particulier à cette région, l'AEJ (African Easterly Jet), nettement distinct du TEJ (Tropical Easterly Jet ; fig. 97). Les variations de la pluviosité au Sahel central s'expliquent donc principalement par les variations de l'intensité des flux méridiens et du balancement saisonnier qui influent sur l'ITCZ (Inter Tropical Convergence Zone), et par les variations des aérojets d'Est qui sont susceptibles d'intensifier les convergences ou de cisailer les ascendances nécessaires à la pluviogenèse. Ces variations se replacent parfaitement dans le cadre thermodynamique global défini précédemment pour le domaine océanique.

***Hypothèses sur les mécanismes des sécheresses au Sahel.** Ainsi, lorsque les SST augmentent dans l'Atlantique équatorial et tropical sud et diminuent dans l'Atlantique nord, il s'ensuit des variations du champ de pression au sol. Les pressions augmentent au Nord et diminuent au Sud et en conséquence les alizés de l'hémisphère nord sont intensifiés alors que ceux du Sud subissent une relaxation. En Afrique de l'Ouest, la remontée estivale de l'ITCZ ou équateur météorologique (fig. 4) et donc de la mousson, est alors retardée ou bloquée. D'une manière générale, il s'agit là du mécanisme de base invoqué dans les reconstitutions paléoclimatiques pour expliquer les sécheresses au Sahel (par exemple Street-Perrott et Perrott, 1990). Cette explication ne prend donc en compte que la seule circulation atmosphérique méridienne (N-S) de Hadley. Or, des études récentes montrent également le rôle très important joué par la circulation zonale (E-W) dite de Walker, qui est plus sensible à la répartition régionale de la chaleur dans l'atmosphère équatoriale. Ces études ont abouti à la distinction de deux types de sécheresse.

***Premier type de sécheresse.** Dans la situation générale mentionnée précédemment (fig. 130.A), le TEJ reste inchangé au sommet de la troposphère. Mais la migration vers le Nord de l'AEJ est alors moins marquée et son intensité, liée au gradient thermique méridien, augmente dans la basse troposphère. Ceci cisaille les circulations atmosphériques ascendantes et donc la formation de nuages ; la sécheresse s'installe alors au Sahel, au Nord de l'AEJ (Fontaine, 1989). Par contre, ceci ne remet pas en cause l'intensité de la mousson. Les pluies, bloquées par l'AEJ vers 10°N,

augmentent plus au Sud sur les zones soudano-guinéenne et guinéenne (Janicot, 1990).

***Second type de sécheresse.** Il se distingue du premier, tout d'abord par une anomalie négative des SST sur le golfe de Guinée (Fontaine et Bigot, 1991). On observe alors des anomalies positives du champ de pression sur tout l'Atlantique (fig. 130.B) avec un renforcement de l'anticyclone des Açores comme de celui de Sainte-Hélène. La remontée estivale de l'ITCZ est supérieure à la normale (Fontaine et Bigot, 1991), la position et l'intensité de l'AEJ sont proches de la normale (Janicot, 1990). Mais les augmentations de pression sur tout l'Atlantique repoussent la circulation de Walker vers l'Est, et l'intensité du TEJ décroît sur toute l'Afrique de l'Ouest (fig. 130.B). En conséquence il y a une relaxation de la circulation de Hadley et donc de l'apport d'air humide vers l'ITCZ : les pluies diminuent alors sur toute l'Afrique de l'Ouest (Janicot, 1990).

b) Hypothèses sur la pluviosité sahélienne au Tardiglaciaire.

***Les périodes humides.** Par analogie avec les situations observées depuis le début du siècle, on peut supposer que les fluctuations hydroclimatiques positives du Tardiglaciaire au Sahel central (fig. 127.A) sont liées en premier lieu à une remontée de l'ITCZ provoquée par une augmentation des SST sur l'Atlantique nord (fig. 127.B). On peut en effet mettre en relation les variations des SST dans l'Atlantique nord avec la position du front polaire boréal (Ruddiman et McIntyre, 1981 ; Bard *et al.*, 1987a). Une interprétation paléoclimatique extrêmement simple consiste donc à voir dans chaque augmentation des SST un recul vers le Nord du front polaire boréal et donc une avancée de l'ITCZ sur l'Afrique (fig. 95), cette dernière provoquant une augmentation de la pluviosité liée à la mousson (*cf.* synthèse par Street-Perrott et Perrott, 1990).

***Les périodes arides sur le seul Sahel.** Toujours par analogie avec des situations récentes, il est possible de distinguer deux types de périodes arides au Tardiglaciaire. En effet, on remarque que les fluctuations négatives de l'Older Dryas (12,000-11,800 ans ¹⁴C B.P.) et du Précurseur du Younger Dryas (11,200 - 10,700 ans ¹⁴C B.P.), n'ont été observées que dans les mares isolées du Sahel central (fig. 127). Ces fluctuations n'apparaissent pas dans les enregistrements de la cuvette sud du lac Tchad, considéré comme un indicateur indirect de la pluviosité en zones soudano-guinéenne et guinéenne. De même, au Ghana et au Sud-Cameroun, en zone guinéenne, des lacs de cratère que l'on peut considérer comme des pluviomètres naturels ne montrent pas non plus de telles variations (Maley,

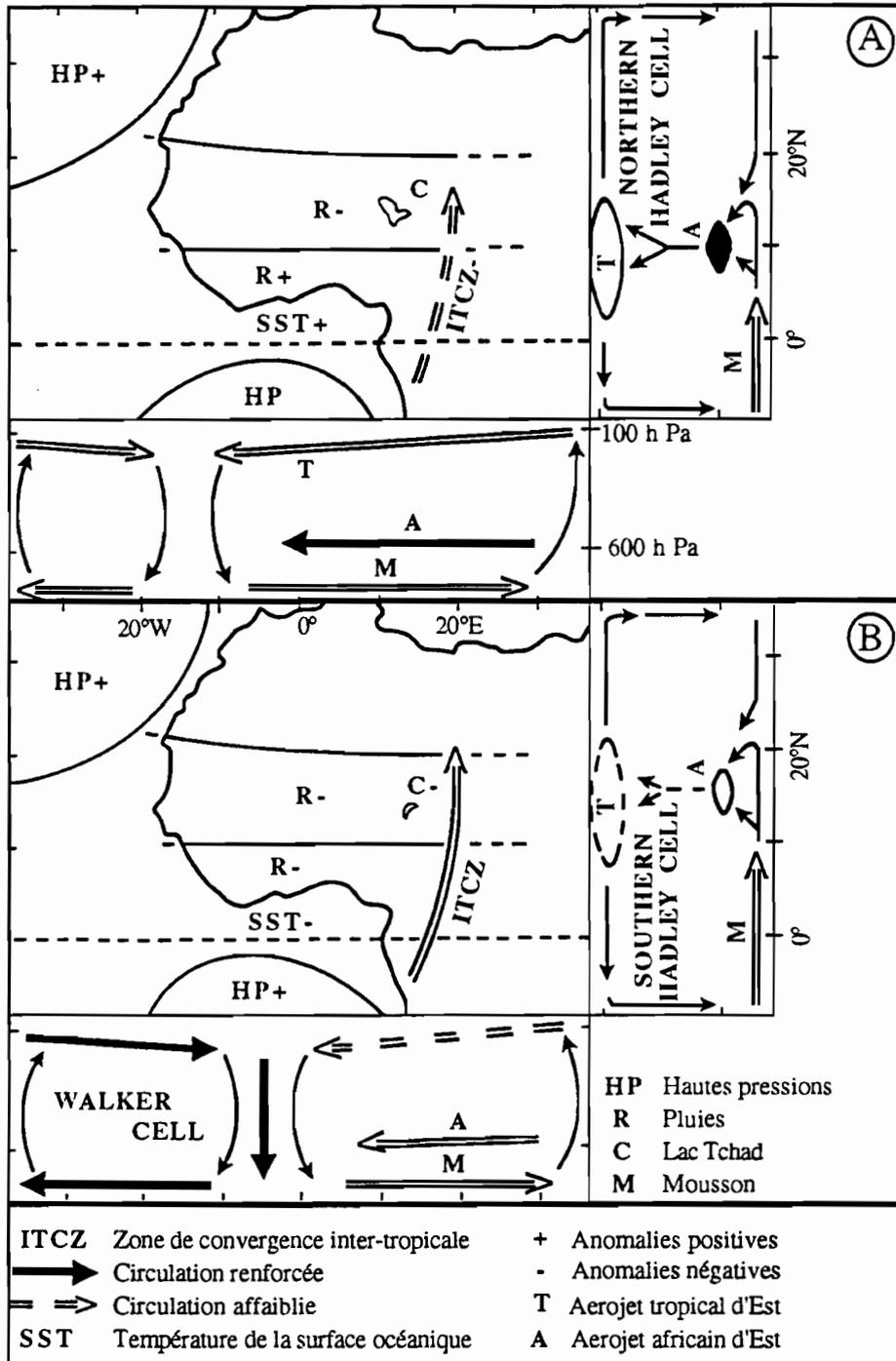


Fig. 130. Situations météo-océanographiques définissant deux types de sécheresse en Afrique de l'Ouest, d'après Janicot (1990) et Fontaine et Bigot (1991). A : Sécheresse sur le Sahel et augmentation des pluies sur la zone soudano-guinéenne et guinéenne. B : Sécheresse sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest.

1989). Il n'est pas impossible, pour le lac Tchad comme pour ces lacs de cratère, que les variations existent mais aient échappé à l'observation pour des raisons méthodologiques. Néanmoins, il est tentant de penser que les fluctuations observées au Manga méridional et au Kanem méridional sont liées à des sécheresses n'ayant affecté que la zone sahélienne. Cette situation correspondrait donc à un renforcement du gradient thermique méridien sur l'Atlantique : baisse des SST au Nord et

hausse au Sud en liaison avec le NADW (fig. 128).

***Les périodes arides sur toute l'Afrique de l'Ouest.** La fluctuation hydroclimatique négative du Younger Dryas principal (10,300 - 9600 ans ^{14}C B.P. environ) est également très bien enregistrée par le paléolac Tchad et les lacs de cratère de la zone guinéenne (Maley, 1989). Nous proposons de voir là le résultat d'un refroidissement plus général des SST sur l'Atlantique et donc d'un renforcement simultané des anticyclones des Açores et

de Sainte-Hélène. Dans le canal de Mozambique où il semble que seul le Younger Dryas principal soit enregistré (daté entre 10,200 et 9600 ans ^{14}C B.P. environ), on assiste alors à une invasion par une eau à très forte oxygénation venant de l'Antarctique (Caralp *et al.*, 1993). Il est donc probable que ce refroidissement global a d'autres causes que les seules variations du NADW. Parmi les explications proposées on notera celles mettant en avant les variations de la concentration atmosphérique en CO_2 (Faure, 1987 ; Harvey L., 1989 ; Berger, 1990).

***L'existence de pluies liées aux advections d'air polaire boréal (Servant, 1973 ; Servant-Vildary, 1978 ; Maley, 1981) n'est donc plus nécessaire pour expliquer les fluctuations hydroclimatiques observées au Sahel. Néanmoins, ceci ne remet pas en cause l'enregistrement d'indications rapportées au froid.** En niveau absolu, on se rend compte en effet que la période de léger réchauffement relatif (+ 1°C environ) au coeur du Younger Dryas est une période beaucoup plus froide que l'actuelle (-7°C environ selon Bard *et al.*, 1987a) et, même, plus froide que la période de refroidissement de l'Older Dryas (fig. 127.B). Les indications paléocéologiques de froid fournies par les Diatomées se rapportent à un niveau absolu de température, alors que les indications d'une pluviosité locale se rapportent à un gradient de température à l'échelle de l'Atlantique. C'est là l'expression originale d'un vieux débat stratigraphique: faut-il raisonner selon des seuils ou des gradients ? Autrement dit faut-il voir la succession de périodes plus froides et moins froides qu'une température absolue donnée, ou faut-il voir la succession de périodes de refroidissement et de réchauffement sans référence à une température particulière ?

***L'existence de pluies d'origine septentrionale n'est pourtant pas exclue.** Le problème qui se pose est méthodologique. Comment distinguer ces pluies de celles liées à la mousson, si les seules indications de froid ne sont pas suffisantes ? Une réponse pourrait être tentée en essayant de les distinguer dans le temps ou dans l'espace. Autrement dit, existe-t-il en Afrique nord-équatoriale des indications de pluviosité pendant les phases d'aridité du Tardiglaciaire au Sahel Central ? Nous avons vu que le premier épisode lacustre de Kamala a été daté, à son maximum, de $10,100 \pm 250$ ans B.P. alors que les mares au NW du paléolac Tchad s'assèchent après $10,340 \pm 120$ à $10,200 \pm 200$ ans B.P. Les datations font donc apparaître un décalage, que nous n'avons pas considéré comme significatif, compte tenu des marges d'erreur. Or, lors de la transgression lacustre de Kamala, on note une diminution des pollens sahéliens (12,3 à 1,4%), alors

qu'une influence septentrionale est décelée par l'augmentation de *Launaea* (0,2 à 1,2 %) qui occupe en général les lits d'oued au Sahara (Maley, 1981). De plus, une importante transgression lacustre a été datée à sa base de $10,100 \pm 230$ et $10,160 \pm 160$ ans B.P. dans les Bas-Pays (Servant, 1973), et de 9785 ± 75 ans B.P. dans le Ténéré (Baumhauer, 1987), alors que le paléolac Tchad connaissait un niveau minimum daté de 9930 ± 240 , 9835 ± 135 et 9690 ± 210 ans ^{14}C B.P. (tabl. 14). En admettant que les datations des Bas-Pays, réalisées sur carbonates, n'aient pas enregistré un vieillissement apparent, ce que seul le $\delta^{13}\text{C}$ pourrait indiquer, nous pouvons supposer voir là l'enregistrement de deux types de pluviosité. L'une, d'origine méridionale et liée au réchauffement, serait responsable de la fluctuation hydrologique positive entre 10,700 - 10,300 ans B.P. au centre du bassin ; l'autre, d'origine septentrionale, serait responsable de la transgression dans les Bas-Pays après 10,200 ans B.P. probablement alimentée principalement par la pluie sur le massif du Tibesti. La zone du seuil du Bahr El Ghazal, constituerait un cas intermédiaire, les pluies septentrionales y retardant la régression après 10,300 ans B.P. alors que le paléolac Tchad connaissait son plus bas niveau depuis 13,000 ans B.P. environ. Mais pour confirmer cette hypothèse les données manquent, notamment les mesures du $\delta^{13}\text{C}$ pour conclure sur la valeur et la signification des datations.

2. 7. Conclusions

La chronologie du Tardiglaciaire établie au centre du bassin du Tchad, montre une simultanéité des variations pluviométriques au Sahel et des variations des SST dans l'Atlantique nord. Ainsi la mise en évidence de plusieurs épisodes au sein du Younger Dryas (fig. 127) permet une meilleure compréhension des mécanismes pluviométriques faisant intervenir le NADW et la circulation de Walker plutôt que des invasions d'air polaire au sein de la circulation de Hadley.

Cette conclusion devrait permettre une approche nouvelle des variations climatiques au Sahel à d'autres époques. Cela semble en effet une approche intéressante des variations récentes (cf. synthèse in Street-Perrott et Perrott, 1990 ; Weaver *et al.*, 1991 ; Kerr, 1992). Mais on remarquera aussi un net refroidissement des SST de l'Atlantique nord entre 6790 ± 140 et 6000 ans ^{14}C B.P. environ (Bard *et al.*, 1987a), cohérent avec les indications de fluctuations hydroclimatiques négatives que nous avons notées précédemment au Niger et au Tchad et qui contredisent l'hypothèse du Mégatchad de 6000 ans ^{14}C B.P.

Les variations climatiques du Tardiglaciaire et les modalités de leur enregistrement sédimentaire, illustrent bien la notion de crises climatiques : événements globaux dont l'enregistrement est fonction des conditions locales. Ainsi, des dépôts palustres et lacustres ont été reconnus dès avant 12,000 ans ¹⁴C B.P. en zone sahélienne. Ils existent aussi plus au Nord du bassin en zone sahelo-saharienne (par exemple Servant, 1973 et Dubar, 1988). Ceci infirme l'hypothèse d'une intensification progressive de la pluviosité entre 13,000 et 9000 ans ¹⁴C B.P. environ, en raison d'une remontée progressive de la mousson vers le Nord (par exemple Street-Perrott et Roberts, 1983). S'il est indéniable que le nombre et la profondeur des lacs augmentent avec la latitude au cours du temps, cela peut s'expliquer par une amélioration des conditions d'enregistrement de la pluviosité (baisse de la température et montée de la

nappe phréatique). Le passage d'un état du climat à un autre est très rapide (Gasse *et al.*, 1990). Un décompte annuel a même montré que le passage du Younger Dryas au Préboréal est survenu en quelques décennies (Dansgaard *et al.*, 1989). Ceci correspond bien aux mécanismes mettant en cause le NADW et pouvant varier en quelques années.

Enfin, notre étude rappelle que l'évolution du paléolac Tchad, alimenté principalement depuis la zone soudano-guinéenne et guinéenne, n'est pas obligatoirement représentative du climat de l'ensemble du bassin tchadien ni même de la zone sahélienne. Il faudrait en tenir compte dans les synthèses et modélisations (par exemple Kutzbach, 1980) qui jusqu'à présent assimilent Kanem, lac Tchad et Afrique de l'Ouest, voire même Afrique inter-tropicale.

CONCLUSIONS

1. DISCONTINUITÉS SÉDIMENTAIRES LIÉES A LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE

1.1. Le fonctionnement des géosystèmes enregistreurs

a) **Distorsions entre causes et conséquences.** Les classifications antérieures des événements climatiques basées uniquement sur la durée, ne distinguent généralement pas l'événement enregistrable lui-même de ses conséquences enregistrées. Pourtant, le signal climatique passé au crible du milieu enregistreur est susceptible d'être déformé, amplifié ou diminué, voire totalement occulté. Par exemple, dans le cas des dépôts palustro-lacustres interdunaires liés à une nappe phréatique, il y a un "effet d'inertie" ; le niveau de la nappe varie plus lentement que le climat, ce qui amortit les conséquences des changements climatiques. D'autre part, il y a un "effet de seuil" ; l'apparition ou la disparition de la nappe en surface ne traduit pas un niveau zéro, mais un minimum pluviométrique, variable selon les conditions locales. Il peut en résulter un décalage avec la chronologie véritable des événements climatiques, mais surtout une tendance à exagérer l'importance des maxima arides et humides, en ne retrouvant pas de dépôts correspondant aux périodes intermédiaires.

b) **Importance du modèle actuel.** Ainsi, l'enregistrement d'un événement climatique dans la sédimentation continentale sera fonction de la nature du milieu qui l'enregistre. Chaque géosystème étant un enregistreur avec ses caractéristiques propres, son utilisation nécessite donc au préalable la compréhension de son fonctionnement, d'où l'importance du modèle géodynamique actuel et notamment pour ce qui concerne l'eau et le vent.

c) **Limites du modèle actuel.** La quantité et la diversité des paramètres abordés, la complexité de leurs relations qui n'ont souvent été qu'entr'aperçues, amènent à faire preuve de prudence : nous n'avons pas décalqué la réalité, nous n'en avons tracé qu'une simple esquisse. Si les mécanismes sédimentaires eux-mêmes semblent bien cernés, tout essai de quantification se heurte toujours à un manque de données. Ainsi, la synthèse que nous avons tentée du bilan de la sédimentation dans le lac Tchad, restera difficilement applicable aux périodes géologiques, même les plus récentes, tant que n'auront pas été établies, d'une part l'évolution de la géométrie du bassin et de l'hydrographie du Logone, liée à la néotectonique, d'autre part,

une estimation réaliste de la charge solide charriée sur le fond et de son évolution en fonction de la dynamique fluviale, liée au climat.

1.2. Valeur stratigraphique des crises climatiques

a) **Des événements globaux.** Les crises climatiques *lato sensu* sont des dérèglements brusques, mais passagers, des mécanismes affectant la totalité des enveloppes externes de la Terre. Elles se distinguent ainsi des événements exceptionnels qui représentent seulement un paroxysme dans le déroulement habituel d'un mécanisme atmosphérique. Même provoquée par un phénomène local (débâcle soudaine de glaces ou capture hydrographique, par exemple), une crise climatique *lato sensu* mettant en jeu la totalité des enveloppes externes, sera de ce fait obligatoirement répercutée globalement, mais avec des conséquences régionales très diverses en raison de nombreuses téléconnexions. Elle se remarquera ici par une variation de température, là par une variation de pluviosité, ou encore par une modification du champ de pression et donc des vents. La nature du paramètre climatique le plus affecté localement n'a donc pas plus de valeur stratigraphique qu'un faciès lithologique et ne peut servir à définir une crise climatique ou à proposer des corrélations.

b) **Intensité et seuil d'enregistrement.** Par ailleurs, outre la nature du milieu affecté, c'est l'intensité du déséquilibre énergétique à l'origine de l'événement climatique qui déterminera la durée de ses effets et la possibilité de son enregistrement géologique. Bien qu'ayant une extension globale, une crise climatique *lato sensu* peut être trop peu intense pour franchir le seuil d'enregistrement et affecter "efficacement" l'équilibre des milieux naturels sur l'ensemble du globe. Elle ne se remarquera alors que localement, dans des milieux en équilibre précaire, comme le Sahel. Ainsi, au sein des crises climatiques *lato sensu*, nous distinguerons les anomalies climatiques et les crises climatiques *stricto sensu*. Les anomalies sont des crises climatiques élémentaires, trop peu intenses pour être enregistrées au niveau global, et donc sans valeur stratigraphique (exemple des sécheresses pluriannuelles habituelles au Sahel). Par contre, les crises climatiques *stricto sensu* sont suffisamment intenses pour provoquer des modifications du milieu perceptibles sur l'ensemble du globe et ont donc une valeur stratigraphique potentielle (événements majeurs de la dernière déglaciation, par exemple). Leur valeur stratigraphique réelle sera fonction de l'abondance, de la dispersion géographique et de la précision chronologique des données. Ainsi, il apparaît que le maximum aride kanémien est en fait constitué par une succession de crises climatiques.

2. RÉÉVALUATION DE L'HYPERARIDITE DU KANEMIEN (20,000-12,000 ANS ¹⁴C B.P.) LIÉE AU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE

2.1. Problèmes posés par l'enregistrement de l'aridité

a) **Problèmes chronologiques.** Dans les milieux palustro-lacustres interdunaires, un épisode aride enregistré par un assèchement et une lacune ou, éventuellement, par un dépôt de sables éoliens et azoïques, ne peut généralement pas être daté lui-même, mais par référence aux dépôts des épisodes plus humides qui l'encadrent : la chronologie d'une période aride c'est le plus souvent une lacune dans la chronologie des périodes humides. Ainsi, les limites d'une importante période aride avaient été fixées pour la première fois entre 20,000 et 12,000 ans ¹⁴C B.P. environ par Servant (1973), à l'aide de datations sur les dépôts palustro-lacustres encadrant des sables éoliens, observés en coupe dans l'erg du Kanem qui a donné son nom à cette période. Compte tenu de l'impossibilité fréquente dans les autres régions du Sahel de dater, même indirectement, les sables éoliens antérieurs à l'Holocène, c'est à cette période kanémienne qu'ils furent rattachés le plus souvent. C'est sur la présence jusque vers 12° et même jusque vers 10°N, de sables attribués au Kanémien, que fut basée l'hypothèse d'une avancée du Sahara à cette époque jusqu'à 500, voire 800 km, au Sud de sa limite actuelle (fig. 28).

b) **Problèmes lithostratigraphiques.** De notre analyse, il ressort que l'accumulation de sables éoliens au Sahel est un phénomène beaucoup plus ancien, tout comme leur extension maximale vers le Sud. En effet, les sables éoliens semblent apparaître au Sahel central au début du Quaternaire et la formation d'ergs suffisamment importants pour ne pas être totalement dispersés lors des phases humides postérieures, débute vers 1 Ma. Depuis lors, les variations climatiques auraient été comparables à celles des vingt derniers millénaires ; les dépôts des épisodes humides et arides auraient alterné, se remaniant mutuellement et s'effaçant progressivement pour aboutir à la mise en place des formations superficielles actuelles : c'est-à-dire des formations en transit, provisoirement stabilisées, mais prêtes à se remobiliser. Ainsi, l'erg ancien ne serait que la plus ancienne formation dunaire non encore totalement effacée en surface, alors que l'erg kanémien serait la dernière formation dunaire importante. Au cours du seul Pléistocène supérieur, nous avons reconnu au moins trois périodes arides importantes qui ont provoqué la mise en place de sables éoliens. Les deux épisodes

antérieurs au Kanémien avaient souvent été confondus avec lui, notamment celui situé vers 30,000 ans ¹⁴C B.P. (tabl. 10).

c) **Problèmes d'interprétation géodynamique et paléoclimatique.** Au Sahel central où le "substratum" est constitué à 95 % par des dépôts éoliens anciens, la présence de sables éolisés dans les dépôts est peu significative ; en effet, la phase éolienne majeure ancienne facilite l'extension des phases mineures postérieures en mettant à leur disposition un matériel déjà éolisé et très facilement remobilisable. De plus une grande partie des sables attribués à l'extension du Sahara sur le Sahel, du Sénégal au Tchad, n'est pas éolienne, mais fluviale ou colluviale. En outre, parmi les sables ayant réellement subi une éolisation, il semble bien que les phénomènes de déflation et de remaniement aient été prépondérants sur les phénomènes d'accumulation. Or, le modèle actuel montre que l'accumulation concerne des dunes vives jusqu'à la limite Sahara-Sahel (< 150mm/an), alors que la déflation et les remaniements éoliens peuvent affecter des dunes fixées et vêtues, voire même des épandages alluviaux au Sud du Sahel (jusqu'à 350mm/an) (Mainguet, 1982b et 1983). Enfin, Talbot (1984) et Courel et Chamard (1987a) ont montré que l'efficacité de l'action éolienne au sol n'est pas fonction exclusivement de la pluviométrie, mais aussi de la température, ainsi que de la rugosité du sol qui est liée au couvert végétal. Toutes ces raisons font que l'observation au Kanémien d'actions éoliennes 500 à 800 km au Sud de la limite actuelle du Sahara, n'implique pas obligatoirement un déplacement similaire des isohyètes à cette époque.

2.2. Réévaluation de la chronologie et de l'aridité du Kanémien

a) **Absence d'enregistrement de l'hyperaridité.** Dans la région des "deltas" du Chari l'aridité se manifeste après 21,800 ± 1100 ans ¹⁴C B.P. environ, par des dépôts évaporitiques et éoliens, mais aussi fluviaux et palustres. Contrairement au Kanem, ou à la cuvette nord du lac Tchad, il n'existe pas dans cette région de niveau éolien généralisé indiquant un assèchement total et prolongé. Il est probable que les apports fluviaux alimentés depuis la zone soudano-guinéenne n'ont jamais complètement cessé, les décharges détritiques étant seulement plus concentrées dans l'espace, le taux de sédimentation pouvant alors augmenter très fortement. Dans le Kazzel, la nappe phréatique est restée très haute, les apports de la Komadugu Yobe suffisant apparemment à maintenir son niveau. Ceci a favorisé la déflation et l'accrétion éolienne, avec la mise en place de dépôts de type "sand sheet". Il n'y a pas eu formation

d'un erg dans le Kadzell, au contraire du Bornu central pourtant plus méridional, mais privé d'apports fluviaux (fig. 92). D'une manière générale, au Sahel central, les différents types d'action éolienne au Kanémien (accumulation de sables, déflation des poussières et remaniement des sables, dépôts des poussières) sont répartis le long des trajectoires d'échelle continentale (fig. 93) qui aboutissent aux formations loessiques du Cameroun et du Nigeria (fig. 92). Or l'eau a joué un rôle important dans la mise en place de ces formations (Smith et Whalley, 1981), et le piégeage des loess nécessite un couvert végétal continu (Coudé-Gaussen, 1984). Au Kanémien, la limite septentrionale des formations loessiques indiquait donc une pluviométrie au moins de type sahélo-soudanien (> 400 mm/an), là où les travaux antérieurs concluaient à l'existence d'une zone saharo-sahélienne (< 150 mm/an).

b) Une succession de périodes arides relativement brèves. Dans le bassin du moyen-Niger, nous avons observé une formation fluvio-éolienne intercalaire (fig. 77 et 79). Elle constitue une moyenne terrasse récente édifiée pendant la transition entre le maximum humide ghazalien (24,000 - 21,600 ans ¹⁴C B.P. environ) et le maximum aride kanémien (18,900 - 14,800 ans ¹⁴C B.P. environ). La décharge d'eau douce enregistrée en mer, face au delta du Niger (Pastouret *et al.*, 1978), fournit une chronologie relativement précise de ces périodes très mal enregistrées à terre en raison de la nature détritique et azoïque du matériel et des seuils d'enregistrement des géosystèmes (exemple des interdunes du Kanem). Ainsi, le maximum humide ghazalien supérieur comprendrait trois périodes humides de moins d'un millénaire, séparées par des périodes plus arides (fig. 86). Inversement, le maximum aride kanémien comprendrait trois périodes arides de moins d'un millénaire, séparées par des périodes plus humides. L'alternance des minéraux argileux enregistrée en mer, suggère qu'en fait les phases plus humides du maximum aride kanémien étaient équivalentes aux phases plus arides du Ghazalien supérieur (fig. 87). Ceci conduit à nuancer tant l'humidité du Ghazalien supérieur que l'aridité du Kanémien inférieur. Ainsi, on notera que lors du maximum aride les apports d'eau douce du Niger étaient comparables aux apports modernes et ont suffi à éroder la moyenne terrasse récente.

c) Un retour plus précoce de l'humidité. Les données sédimentologiques indiquent un retour à une plus grande humidité dès 15,000 ans ¹⁴C B.P. environ : niveaux palustres des deltas du Chari, sols du Nord-Cameroun, dépôts aquatiques des massifs du Sahara méridional (Tibesti et Aïr) et du Jebel Marra au Soudan, réalimentation de la nappe phréatique en zone

sahélienne. Mais la rupture de l'équilibre environnemental avait été telle que de nombreux paléomilieux restèrent en-dessous du seuil d'enregistrement, d'où la conclusion antérieure d'un épisode hyperaride très long. Ainsi, les interdunes du Kanem continuèrent à enregistrer des remaniements éoliens jusque vers 12,000 ans ¹⁴C B.P. pour certaines, et même après 10,000 ans ¹⁴C B.P. pour d'autres, avant que la nappe phréatique ne revienne à l'affleurement selon le contexte topographique et hydrogéologique (fig. 89 et 125). Selon les milieux, la fin du Kanémien peut donc être enregistrée avec un décalage de plus de 5000 ans, soit plus que la durée totale de l'humide important de l'Holocène inférieur (9500-6500 ans ¹⁴C B.P.). En fait, l'événement semble avoir été relativement bref. Ainsi, face au delta du Niger, la décharge détritique liée à la pluviosité, augmente considérablement entre 14,800 et 14,200 ans ¹⁴C B.P. (Pastouret *et al.*, 1978). Simultanément, au large du delta du Sénégal, la vitesse de l'Harmattan, liée au gradient thermique méridien, chute de 35 à 5 m/s après 14,900 ans ¹⁴C B.P. (Samthein *et al.*, 1987). Tous ces changements sont liés au réchauffement global. Ils coïncident avec le début de l'arrivée dans l'Atlantique nord des eaux issues de la déglaciation (Broecker *et al.*, 1988).

d) Réévaluation du maximum aride. Le Kanémien n'apparaît donc plus comme une longue période hyperaride de plus de 10,000 ans, mais comme la succession de plusieurs périodes dont certaines seraient même plus humides que l'actuelle. Un modèle analytique complexe (Adams et Tetzlaff, 1985) avait montré que lors du maximum aride kanémien, avec une réduction des apports du Chari de 80 à 85% et une pluviométrie sur le lac Tchad lui-même de 75mm/an au lieu de 325, la surface lacustre se serait maintenue à 1370 km². En 1984-1985, avec des apports fluviaux réduits à 17% de la moyenne interannuelle antérieure, le lac Tchad représentait encore 2000 km² environ. Autrement dit, un recul des isohyètes de 150 à 300 km vers le Sud, situation fréquente au Sahel depuis 20 ans, permettrait d'expliquer en grande partie la situation pluviométrique du Kanémien. Néanmoins, il est évident que la prolongation, pendant 5 à 10 siècles, de conditions climatiques observées depuis seulement 30 ans, aboutirait à des conséquences sur le milieu sahélien sans commune mesure avec celles survenues jusqu'à présent. En ce qui concerne les mécanismes climatiques, nous avons vu que le recul de la pluviosité vers le Sud de la zone sahélienne s'est accompagné logiquement d'un déplacement des trajectoires des anticyclones liées aux ondes d'Est, ainsi que de la trace au sol de la Zone de Convergence Inter-Tropicale et du Jet Africain d'Est en altitude (fig. 96 et 97). Mais nous

n'avons pas pu confirmer l'importance accordée par les travaux antérieurs aux pluies méditerranéennes et aux invasions d'air polaire au Sahel même.

3. TRANSITION ARIDE-HUMIDE ET CRISES DU TARDIGLACIAIRE (14,000-9500 ANS ¹⁴C B.P.) : IMPORTANCE DU CONTEXTE OCÉANIQUE GLOBAL ET DE LA CIRCULATION ZONALE

3.1. Paléohydrologie au centre du bassin tchadien

a) **Le paléolac Tchad.** Les données sont encore rares pour le paléolac Tchad lui-même considéré comme un indicateur indirect de la pluviosité en zone soudanienne et soudano-guinéenne. Il n'est pas possible de dire si le paléolac s'étendait ou non dans l'actuelle cuvette nord. Seuls le début et la fin du Tardiglaciaire ont été mis clairement en évidence dans l'actuelle cuvette sud, et le paléolac Tchad ne semble pas avoir connu de très hauts niveaux : avec une topographie et une hydrographie analogues aux actuelles, il n'aurait pas dépassé alors, ni même atteint, ses limites et son niveau moyen récent. Dans ce cas, aucun des dépôts palustres et lacustres reconnus alors au NE, autour du Bahr El Ghazal et dans les Bas-Pays, ne pourrait plus être attribué à des écoulements de surface du paléolac Tchad. A moins d'admettre l'existence de mouvements néotectoniques survenus depuis lors...

b) **Les mares sahéliennes.** Par contre, dans les mares interdunaires du Kanem et du Manga, quatre fluctuations hydrologiques positives attribuées aux variations de la pluviosité locale, ont été reconnues (fig. 127). La première, dont le début n'est pas daté, a fourni des âges entre 13,000 et 12,000 ans ¹⁴C B.P. environ et comporte plusieurs fluctuations mineures. La deuxième débute avant 11,700 ans ¹⁴C B.P. environ et se terminerait peu après 11,200 ans ¹⁴C B.P. La troisième, entre environ 10,700 et 10,300 ans ¹⁴C B.P., est particulièrement bien enregistrée au NW du lac Tchad. Puis un changement majeur vers des conditions humides est intervenu à partir de 9600 ans ¹⁴C B.P. environ. C'est le début d'une grande expansion des lacs dans toute l'Afrique du NW qui coïncide avec l'épanouissement des civilisations néolithiques sahariennes.

3.2. Corrélation

Il n'est donc plus possible de situer le maximum d'aridité du Kanémien vers 12,000 ans ¹⁴C B.P., ni de proposer une remontée lente et progressive de la mousson du Sud vers le Nord au cours du Tardiglaciaire. L'évolution paléohydrologique a été rapide et abrupte. Au Groenland, où un décompte annuel véritable est

possible, les changements du Tardiglaciaire semblent être survenus en quelques décennies (Dansgaard *et al.*, 1989), voire en quelques années (Taylor *et al.*, 1993). De plus, les événements paléohydrologiques au Sahel sont synchrones avec l'évolution climatique de l'Europe et de l'Atlantique nord : les épisodes européens froids, correspondant à une baisse de la température de surface de l'Atlantique nord, correspondent également aux épisodes d'aridité du Sahel central (fig. 127). La précision chronologique obtenue ne permet plus des synthèses paléoclimatiques sur des périodes de plusieurs millénaires, susceptibles de regrouper des épisodes totalement contradictoires. Par contre, des observations auparavant contradictoires s'expliquent. La fluctuation hydrologique positive entre 10,700-10,300 ans ¹⁴C B.P. environ, nous permet de réactualiser l'hypothèse d'un Younger Dryas comprenant en réalité deux phases très froides (Younger Dryas précurseur de 11,300 à 10,700 ans ¹⁴C B.P., et Younger Dryas principal de 10,300 à 9800 ans ¹⁴C B.P.) séparées par un faible réchauffement.

3.3. Interprétation paléoclimatique

a) **Liens entre circulation atmosphérique zonale et circulation océanique globale.** Le modèle actuel fournit une explication thermodynamique nouvelle des sécheresses au Sahel (Janicot, 1990 ; Fontaine et Bigot, 1991). Par ailleurs, des données récentes ont montré que l'injection dans l'Atlantique nord d'un volume d'eau douce supérieur à la normale, réduit le NADW (North Atlantic Deep Water) qui participe à la régulation thermique globale (fig. 128-129 ; Broecker *et al.*, 1985). On assiste alors à une augmentation de la SST (Sea Surface Temperature) de l'Atlantique équatorial et tropical sud, alors que celle de l'Atlantique nord diminue. Ces variations sont généralement associées à des anomalies de haute pression au Nord de l'Atlantique et de basse pression au Sud. Il en résulte une intensification des alizés de NE et une relaxation des alizés de SE. En Afrique de l'Ouest la montée estivale vers le Nord de la ZCIT est bloquée au Sud, voire plus tardive (fig. 130.A). Sur les basses couches, l'intensité du JAE augmente avec celle du gradient thermique méridien, alors que l'intensité du JET (Jet d'Est Tropical), au sommet de la troposphère, varie peu. Ceci rompt l'homogénéité verticale de la circulation atmosphérique. Il y a cisaillement des ascendances nécessaires au développement des nuages et donc sécheresse au Sahel. Mais on observe alors une intensification des pluies bloquées au Sud du JAE, soit au Sud de 10°N environ. Par ailleurs, une sécheresse homogène sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, correspond à un renforcement

simultané des hautes pressions, au Nord comme au Sud de l'Atlantique. La position de la ZCIT est alors proche de la normale et l'intensité du JAE varie peu. Mais la circulation zonale de Walker est décalée vers l'Est et on observe un net affaiblissement du JET sur l'Afrique. Cet affaiblissement diminue la convection et l'intensité de la circulation méridienne de Hadley, ce qui provoque la sécheresse sur toute l'Afrique de l'Ouest.

b) Deux types de sécheresse au Tardiglaciaire. Pendant le Tardiglaciaire, des variations semblables auraient eu lieu, en liaison avec l'évolution des calottes glaciaires, à une échelle de $10\text{-}10^2$ ans, se surimposant aux contraintes orbitales. Pour l'instant, nous attribuerons donc les fluctuations hydrologiques positives au Sahel central à la seule avancée de la ZCIT vers le Nord en raison d'un réchauffement de l'Atlantique Nord. Mais les fluctuations hydrologiques négatives de l'Older Dryas (12,000-11,700 ans ^{14}C B.P. environ) et du Younger Dryas précurseur (11,200-10,700 ans ^{14}C B.P. environ) seraient spécifiques au Sahel central. En effet, en l'état actuel des données, elles ne semblent pas enregistrées plus au Sud, ni indirectement par le paléolac Tchad, ni même directement par les lacs de cratère de la zone guinéenne. Ces fluctuations pourraient donc être attribuées à une augmentation du gradient méridien de la SST de l'Atlantique (refroidissement au Nord et réchauffement au Sud). Par contre la sécheresse du Younger Dryas principal, enregistrée aussi par le paléolac Tchad et en zone guinéenne, pourrait être attribuée à un renforcement général des hautes pressions océaniques lié à une baisse importante et globale de la température.

3.4. Enseignements

Un même signal climatique global peut provoquer des réponses atmosphériques régionales variées, elles-mêmes diversement enregistrées selon le fonctionnement des géosystèmes locaux. Ainsi, dans le bassin du Tchad, au Tardiglaciaire, les zones sahélienne et soudano-guinéenne ont pu enregistrer une évolution hydroclimatique nettement différente. L'évolution du paléolac Tchad ne serait donc pas systématiquement représentative de l'ensemble du bassin. Il faudrait en tenir compte dans les synthèses et modélisations, qui ont souvent attribué les seules données connues sur le Kanem, au lac Tchad, voire au bassin du Tchad, voire même à toute l'Afrique intertropicale. Les variations hydroclimatiques du Sahel central au Tardiglaciaire s'expliquent parfaitement par la compréhension des mécanismes actuels dans un cadre thermodynamique global. L'existence de pluies particulières liées à des advections fréquentes d'air polaire boréal vers

l'équateur n'est plus nécessaire comme le proposaient les hypothèses antérieures. Des indications de froid pendant les fluctuations hydrologiques positives n'ont finalement rien de surprenant : ainsi le réchauffement au coeur du Younger Dryas est relatif, il reste nettement plus froid en valeur absolue que le refroidissement de l'Older Dryas (fig. 127).

4. OPTIMUM HOLOCENE : REINTERPRETATION DU MEGATCHAD DE 6000 ANS ^{14}C B.P.

4.1. Une argumentation géologique contestable

Au centre du bassin endoréique du lac Tchad, là où nous pouvions espérer retrouver une sédimentation lacustre la plus importante et la plus continue possible, nous n'avons pas observé de dépôts correspondant au Mégatchad holocène (Schneider, 1967a) qui est à l'origine de l'hypothèse d'une remontée des isohyètes de 1000 km vers le Nord. Une analyse des travaux antérieurs a alors montré qu'il s'agissait d'un concept postulé depuis près de deux siècles sous diverses formes, sans jamais avoir été démontré de façon incontestable. Ainsi, l'âge de ce lac a oscillé du subactuel au Cénozoïque inférieur avant d'être fixé à 6000 ans ^{14}C B.P., et sa cote de 300 à 400-425 m avant d'être fixée à 325 m pour une superficie de 330.000 km² au lieu de 281,8 m et 23.500 km² pour la moyenne des mesures effectuées avant la sécheresse actuelle. En fait, aucun dépôt dont les caractéristiques paléoécologiques et topographiques étaient susceptibles de correspondre à de telles caractéristiques hydrographiques, n'a jamais été directement daté de 6000 ans B.P. De plus, les estimations concordent pour attribuer au Sahel à cette époque une pluviosité inférieure à l'évaporation, et aucune explication satisfaisante du remplissage d'un tel lac n'a jamais été apportée ; en particulier, l'infiltration dans le substratum sableux n'a jamais été prise en compte.

4.2. De nouvelles interprétations sédimentologiques

L'argument majeur de l'existence de ce lac consistait dans la matérialisation de son rivage par un "cordon dunaire périlacustre" et dans l'existence de gigantesques deltas des fleuves qui l'auraient alimenté. Une analyse sédimentologiques de ces "deltas" a montré qu'il s'agissait, pour le Chari (fig. 67), d'épandages alluviaux attribuables à une dynamique fluviale en tresse, caractéristique d'un environnement subaride. Au Kadzell, les dépôts étaient plutôt de type hydroéolien (fig. 107). Dans tous les cas, les données topographiques et paléoécologiques ne permettent pas

d'envisager dans l'actuelle zone lacustre, l'existence d'un niveau supérieur à 285-290 m. Par ailleurs, une analyse des données montre que le cordon est en fait très discontinu, d'altitude, de morphologie et de constitution extrêmement variables. Le seul point commun entre les différentes portions du cordon est leur disposition souvent rectiligne et leur localisation sur des zones d'accidents importants du substratum, ce qui implique un lien avec les structures du bassin (fig. 108). Au Nord du bassin, l'Angamma (fig. 123) semble constituer une exception. On y observe effectivement les dépôts d'un grand delta et ceux de nombreux cordons périlacustres successifs. Néanmoins, les altitudes de ces dépôts du Tardiglaciaire et de l'Holocène, comprises entre 345 et 300 m, sont en fait un argument supplémentaire en faveur de l'existence de phénomènes néotectoniques.

4.3. Importance des phénomènes néotectoniques

Le postulat du Mégatchad et l'altitude supposée constante du "cordon périlacustre" impliquaient une stabilité structurale qui s'accorde mal avec ce que nous savons maintenant. Le bassin du Tchad est, en effet, situé à l'intersection d'accidents structuraux majeurs à l'échelle du continent, soulignés par un volcanisme toujours en partie actif. Ainsi, non seulement les portions du "cordon périlacustre", mais aussi les rivages lacustres, le réseau hydrographique, certaines particularités hydrogéologiques et même certaines morphologies éoliennes, s'expliquent par une origine structurale (fig. 116 et 120). De nombreuses observations antérieures concernant des phénomènes néotectoniques et qui avaient toujours été réfutées, car contraires au postulat du Mégatchad, prennent maintenant une importance nouvelle. Des déplacements verticaux de plusieurs dizaines de mètres sont attestés au cours de l'Holocène.

5. BILAN ET PERSPECTIVES SUR LE QUATÉNAIRE SUPÉRIEUR AU SAHEL CENTRAL

5.1. Une nouvelle appréhension du cadre géologique

a) **Un cadre géologique marqué par l'aridité et l'instabilité structurale.** Au Quaternaire supérieur, au centre du bassin du Tchad, les conclusions antérieures insistaient généralement sur l'importance des dépôts palustro-lacustres, indicateurs d'un climat plus humide et utilisés comme niveaux de référence dans un cadre structural stable. Notre analyse montre la prédominance des phénomènes alluviaux et éoliens, en liaison avec un

climat subaride à subhumide (100 - 700mm/an), dans un cadre structural instable.

b) **Un cadre hydrographique récemment mis en place.** L'existence de phénomènes néotectoniques importants, jusque là sous-estimés ou niés, fait peser une grande incertitude quant à la pérennité du cadre géographique et notamment du réseau hydrographique. Le bassin du Tafassasset a-t-il jamais été réuni à celui du lac Tchad, même au Villafranchien ? Depuis quand le Logone, qui représente 40% des apports actuels du bassin amont, est-il un affluent du Chari ? Depuis quand la Komadugu Yobe est-elle un affluent du lac Tchad ? Enfin, et surtout, depuis quand le lac Tchad occupe-t-il sa position actuelle ? Autrement dit, le bassin du lac Tchad présente-t-il réellement l'unité hydrographique qu'on lui prête depuis toujours ?

c) **Une zone privilégiée pour une étude de la dynamique des phénomènes éoliens applicable aux séries anciennes.** Alors que les travaux antérieurs ont surtout insisté sur l'évolution de l'humidité en zone aujourd'hui aride (<100mm/an), nous avons en fait été amenés à analyser celle de l'aridité en zone aujourd'hui subaride à subhumide. A l'aide du modèle actuel, nous avons tenté de définir la signification climatique de la position des différents types d'action éolienne le long de la trajectoire des alizés à l'échelle du continent africain, trajectoires qui suivent un gradient d'aridité. La zone subaride à subhumide (100 - 700mm/an) conserve en effet la mémoire des événements arides, "fossilisés" par les phénomènes alluviaux comme autant de "biseaux de transgression" du Sahara. Mais il importe de ne plus confondre la limite véritable d'un tel "rivage" avec le Sahara lui-même : sable n'est pas synonyme d'éolien et éolien n'est pas synonyme d'aride.

d) **Perspectives.** La compréhension de l'enregistrement sédimentaire de l'aridité ouvre à présent de nouvelles voies de recherche. Une étude en collaboration sur l'évolution des apports de poussières depuis 12,000 ans est ainsi engagée en bordure du Ténééré et au Manga nigérien (Garba Zibo, thèse en cours ; Garba *et al.*, 1995). De même, au cours de la rédaction, et au contact de l'équipe dijonnaise, est apparue la nécessité de recourir à d'autres types d'analyses. C'est le cas notamment de l'étude des figures et structures sédimentaires qui n'avait pu être réalisée compte tenu du mode de prélèvement, le plus souvent dans des puits en construction. Il conviendrait de rechercher des structures caractéristiques d'une sédimentation hydro-éolienne, malgré des conditions d'affleurement peu favorables (extrême aplanissement joint à un recouvrement sableux généralisé par le vent et le ruissellement).

5.2. Une nouvelle appréhension de l'évolution paléoclimatique

a) **Des variations climatiques d'ampleur limitée.** L'analyse des phénomènes climatiques enregistrés dans la sédimentation du Sahel central, au Quaternaire supérieur, n'a pas montré d'événements climatiques aussi extrêmes que ceux proposés dans certaines hypothèses antérieures. Les conditions climatiques semblent être restées dans les limites des mesures effectuées depuis le début du siècle et sont explicables par les mécanismes atmosphériques connus aujourd'hui. Nous n'avons observé ni l'existence d'une "mer intérieure" holocène, ni l'installation d'un "désert hyperaride" jusqu'en zone soudanienne lors du dernier maximum glaciaire.

b) **Une zone test pour suivre l'évolution du climat global.** C'est la fragilité de l'environnement sahélien lui-même qui est susceptible d'amplifier fortement l'enregistrement d'un signal climatique. C'est ce qui fait du Sahel un bon indicateur de l'évolution du climat global. Aussi, l'observation récente d'une baisse parfois importante de la nappe phréatique, d'un assèchement de plus de 90% du lac Tchad, d'arrêts, même temporaires, de l'écoulement d'un grand fleuve comme le Niger, d'une nouvelle répartition spatio-temporelle des pluies, de la mise en place d'un nouvel erg dans la boucle du Niger au Mali ainsi qu'au Manga méridional au Niger, est particulièrement inquiétante. Par ses conséquences enregistrées dans la sédimentation, la sécheresse sahélienne actuelle présente beaucoup d'analogies avec les crises climatiques du Tardiglaciaire. Elle est de très loin plus importante qu'une simple anomalie pluriannuelle.

c) **Un essai d'interprétation paléoclimatique des crises climatiques au Sahel.** Par analogie avec les sécheresses récentes, deux types de mécanismes de l'aridité sont distingués au Tardiglaciaire, selon que cette dernière affecte la totalité de l'Afrique de l'Ouest ou seulement la zone sahélienne. Dans les deux cas, ces mécanismes sont d'abord liés à la circulation atmosphérique zonale qui évolue en fonction de la circulation océanique globale. Le facteur déclenchant des crises du Tardiglaciaire serait une faible variation de la salinité des eaux de surface de l'Atlantique nord. Le suivi de ce paramètre, pourtant fort éloigné du Sahel, pourrait être la clef de la compréhension de l'évolution climatique à moyen terme.

d) **Les échelles des événements paléoclimatiques et climatiques se rejoignent et s'éclairent mutuellement.** La distinction entre l'événement climatique enregistrable et le signal climatique effectivement enregistré après être passé par le crible du géosystème

enregistreur, modifie considérablement l'appréhension des changements climatiques. Il ne s'agit plus d'évolutions lentes et progressives, mais de ruptures d'équilibres abruptes lorsque des seuils sont franchis. Inversement, depuis quelques années les variations climatiques ont produit des modifications du milieu sahélien que l'on croyait n'avoir existé qu'au cours des temps géologiques et mettant en jeu des intensités et des durées présentant une différence considérable par rapport à ce qui est observé depuis le début du siècle. Notre double approche, paléoclimatique et climatique, montre une convergence de ces deux échelles d'observation et permet une meilleure compréhension de l'évolution climatique et de la signification des discontinuités sédimentaires qui lui sont liées.

BIBLIOGRAPHIE

- Abadie, J. 1953. Hydrogéologie de la cuvette du Mortcha et de la bordure occidentale du Ouadaï au Sud du XVII^e parallèle. *Rapport annuel du service géologique de l'A.E.F.*, Direction des mines et de la géologie, 1-11 et 2 cartes.
- Abadie, J., Barbeau, J. et Coppens, Y. 1959. Une faune de vertébrés villafranchiens au Tchad. *C.R. Acad. Sci.* **248**, 3328-3330.
- Adams, L.J. et Tetzlaff, G. 1985. The extension of Lake Chad at about 18,000 yr B.P. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* **21**, 115-123.
- Alidou, S. et Lang, J. 1983. Etude sédimentologique, paléogéographique et stratigraphique du bassin intracratonique paléozoïque-mésozoïque de Kandi (Nord-Est Bénin, Afrique de l'Ouest). *Geol. Rundschau* **72**, 1, 191-205.
- Alimen, H. 1976a. Variations climatiques dans les zones désertiques de l'Afrique nord-équatoriale durant les quarante derniers millénaires. *VII^e Congr. Panafr. Préhist. et d'Etudes du Quater.*, Addis Abeba, 1971, 337-350.
- Alimen, H. 1976b. Alternances "pluvial-aride" et "érosion-sédimentation" au Sahara nord-occidental. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* **XVIII**, 4, 301-312.
- Alimen, H. 1982. Le Sahara : Grande Zone Désertique Nord-Africaine. *Striae* **17**, 35-51.
- Alimen, H. 1987. Evolution du climat et des civilisations depuis 40,000 ans du Nord au Sud du Sahara occidental. (Premières conceptions confrontées aux données récentes). *Bull. AFEQ* **32**, 215-227.
- Alimen, H., Beucher, F. et Conrad, G. 1966. Chronologie du dernier cycle pluvial-aride au Sahara nord-occidental. *C.R. Acad. Sci.* **263**, 5-8.
- Allen, G.P. et Mercier, F. 1987. Les deltas : sédimentologie et exploration pétrolière. *Bull. Soc. géol. France* **7**, 1247-1269.

- Allen, J.R.L. 1965a. Fining-upwards cycles in alluvial successions. *Geol. J.* 4, 2, 229-246.
- Allen, J.R.L. (1965b). A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology* 5, 2, 91-191.
- Allen, J.R.L. 1970. Studies in fluvial sedimentation: a comparison of fining-upwards cyclothems, with special reference to coarse-member composition and interpretation. *J. Sedimentary Petrology* 40, 1, 298-323.
- Alzouma, K. 1982. *Etude pétrologique de la série sédimentaire tertiaire du bassin de Malbaza (République du Niger)*. Thèse 3ème cycle, Niamey et Orléans, 159 p., 8 pl.
- Andersson, R.F.J. 1976. Weather of the Okavango Delta. In: "Proceedings of the symposium on the Okavango Delta and its future utilisation". Botswana Society, Gaborone, 29-31.
- Arambourg, C. 1952. La paléontologie des Vertébrés en Afrique du Nord française. *XIXème Congr. Géol. Intern.*, Alger, Monographies régionales, h-s, 64 p.
- Archambault, J. 1987. Réflexions sur l'alimentation et l'évaporation des nappes phréatiques en Afrique subsaharienne. *Hydrogéologie* 2, 69-78.
- Amal, H., Barriere, J. et Bornand, M. 1973. Les paléosols des terrasses fluviales du bassin rhodanien et du Languedoc. In: "Le Quaternaire-Géodynamique, stratigraphie et environnement. Travaux français récents". *Suppl. Bull. AFEQ* 36, 203-206.
- Aronson, J.L., Schmitt, T.J., Walter R.C., Taieb, M., Tiercelin, J.J., Johanson, D.C., Naeser, C.W., Naim, A.E.M. 1977. New geochronologic and paleomagnetic data for the hominid-bearing Hadar Formation of Ethiopia. *Nature* 267, 323-327.
- Arthur, M.A. et Von Rad, U. 1979. Early Neogene base of slope sediment at site 397, DSDP Leg 47A: sequential evolution of gravitative mass transport processes and redeposition along the northwest African passive margin. *Initial Reports of the D.S.D.P.*, Washington 47, 1, 603-639.
- Arthur, M.A., Von Rad, U., Cornford, C., Mac Coy, F.W. et Samthein, M. 1979. Evolution and sedimentary history of the Cape Bojador continental margin, northwestern Africa. *Initial Reports of the D.S.D.P.*, Washington 47, 1, 773-816.
- Aucour, A-M. 1988. Le paléolac de Taoudenni (Sahara malien). Etude sédimentologique et implications paléoclimatiques. *Würzburger Geographische Arb.* 69, 87-102.
- Audoin, M. 1905. Notice hydrographique sur le lac Tchad. *La Géographie* XII, 305-320.
- Avbovbo, A.A., Ayoola, E.O. et Osahon, G.A. 1986. Depositional and structural styles in Chad basin of Northeastern Nigeria. *The A.A.P.G. Bull.* 70, 12, 1787-1798.
- Bailloud, G. 1966. L'évolution des styles céramiques en Ennedi (République du Tchad). In: "Actes du 1er colloque international d'Archéologie Africaine" (Fort-Lamy). UNESCO-CNRS (1969), 31-45.
- Ball, E. 1980. An exemple of very consistent brittle deformation over a wide intracontinental area: the late pan-african fracture system of the Tuareg and Nigerian shield. *Tectonophysics* 61, 363-379.
- Balout, L. 1952. Pluviaux interglaciaires et Préhistoire saharienne. *Trav. Inst. Rech. Sahar.* VIII, 9-21.
- Barat, C. 1957. Pluviologie et aquidimétrie de la zone intertropicale. *Mém. IFAN*, Dakar 49, 80 p.
- Barbeau, J. 1952. Les deux venues volcaniques de la rive SE du lac Tchad. *C.R. Soc. géol. France* 52-54.
- Barbeau, J. 1953. Coupure géologique Fort-Lamy. *Rapport annuel du service géol. de l'A.E.F.*, Direction des Mines et de la Géologie, 12-16 et 1 carte.
- Barbeau, J. 1954. Hydrogéologie du bassin tchadien. *Rapport annuel du service géologique de l'A.E.F.*, Direction des Mines et de la Géologie, 7-13.
- Barbeau, J. 1956. *Carte géologique de reconnaissance à 1/1.000.000. Notice explicative sur la feuille Fort-Lamy*. Direction des Mines et de la Géol. de l'A.E.F., 35 p. et 1 carte.
- Barbeau, J. 1959. Quaternaire des abords orientaux du lac Tchad. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr.* 5, 110.
- Barbeau, J. 1961a. Existence d'un dôme villafranchien dans la région de Koro-Toro (République du Tchad). *C.R. Acad. Sci.* 253, 881-883.
- Barbeau, J. 1961b. Morphologie du Quaternaire des abords orientaux du lac Tchad. *Bull. Institut équatorial de rech. et d'études géol. et min.*, Paris 14, 72-82.
- Barber, W. 1965. Pressure water in the Chad formation of Bornu and Dikwa emirates, North-Eastern Nigeria. *Geological survey of Nigeria* 35, 135 p.
- Barber, W. et Jones, D.G. 1958. The geology and hydrology of Maiduguri, Bornu Province. *Records of Geological Survey of Nigeria*, 5-20.
- Barbery, J. et Gavaud, M. 1980. Carte pédologique du Cameroun. Feuille Bogo-Pouss à 1/100.000. *Notice explicative ORSTOM* 88, 58 p.
- Barbey, C. 1982. *Les ergs du sud-ouest de la Mauritanie et du nord du Sénégal*. Thèse, Paris VII, 2 t., 454 p., 68 fig., 8 cartes h.t.
- Barbey, C., Carbonnel, J-P, Duplaix, S., LeRibault, L. et Tourenq, J. 1975. Etude sédimentologique de formations dunaires en Mauritanie occidentale. *Bull. IFAN* 37, A 2, 255-281.

- Bard, E., Arnold, M., Maurice, P., Duprat, J., Moyes, J. et Duplessy, J.-C. 1987a. Retreat velocity of the North Atlantic polar front during the last deglaciation determined by ^{14}C accelerator mass spectrometry. *Nature* **328**, 791-794.
- Bard, E., Anold, M., Duprat J., Moyes, J. et Duplessy, J.-C. 1987b. Reconstruction of the last deglaciation: deconvolved records of $\delta^{18}\text{O}$ profiles, micropaleontological variations and accelerator mass spectrometric ^{14}C dating. *Climate dynamics* **1**, 101-112.
- Bard, E., Fairbanks, R., Arnold, M., Maurice, P., Duprat, J., Moyes, J. et Duplessy, J.-C. 1989. Sea-level estimates during the last deglaciation based on $\delta^{18}\text{O}$ and accelerator mass spectrometry ^{14}C ages measured in *Globigerina bulloides*. *Quaternary Research* **31**, 381-391.
- Barker, F.J., Fritz, P. et Brown, R.M. 1978. ^{14}C measurements in aquifers with methane. *Isotope hydrology*, AIEA, Vienne **2**, 661-678.
- Barker, P.F., Kennett, J.-P., O'Connell, S., Berkowitz, S., Bryant, P., Burckle, L.H., Egeberg, P.K., et al. 1988. Résultats préliminaires de la campagne 113 du Joides-Resolution (Ocean Drilling Program) en mer de Weddell: Histoire de la glaciation antarctique. *C.R. Acad. Sci.* **306**, II, 73-78.
- Barth, H. 1860-1863. *Voyages et découvertes dans l'Afrique septentrionale et centrale pendant les années 1849 à 1855*. Traduction par Paul Ithier, Didot, Paris, 2e éd., 4 vol.
- Barusseau, J.-P. et Gaye, C.-B. (1983). Sur l'origine et l'âge des sables situés sous les formations du volcanisme quaternaire de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal) ("Sables infrabasaltiques"). *Bull. ASEQUA* **70-71**, 43-52.
- Baumhauer, R. 1986. Zur jungquartären seenentwicklung im bereich der stufe von Bilma (NE-Niger). *Würzburger geographische Arbeiten* **65**, 235 p. et 16 fig. h.t.
- Baumhauer, R. 1987. Holozäne limnische akkumulationen im bereich der stufen von Zoo Baba und Dibella (NE-Niger). *Palaeoecology of Africa* **18**, 167-177.
- Baumhauer, R. 1991. Paleolakes of the south central Sahara-problems of palaeoclimatological interpretation. *Hydrobiologia* **214**, 347-357.
- Beaudet, G. 1969. *Le plateau central marocain et ses bordures, étude géomorphologique*. Inframarc, Rabat, 480 p.
- Beden, M. 1979. Données récentes sur l'évolution des Proboscidiens pendant le Plio-Pléistocène en Afrique orientale. *Bull. Soc. géol. France* **XXI**, 3, 271-276.
- Beden, M. 1985. Les Proboscidiens des grands gisements à Hominidés plio-pléistocènes d'Afrique orientale. In : "*L'environnement des Hominidés au Plio-Pléistocène*". Masson, 21-44.
- Bellion, Y. 1987) *Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudenni, Iullemmeden, Tchad)*. Thèse, Avignon, 154 p. + 123 fig. et 12 tabl. Publication occasionnelle CIFEG, 1989, 17, 302 p.
- Bennett, J.G. 1980. Aeolian deposition and soil parent materials in northern Nigeria. *Geoderma* **24**, 241-255.
- Berger, W.H. 1990. The Younger Dryas cold spell-a quest for causes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)* **89**, 219-237.
- Bertrand, J.J. 1977. *Action des poussières subsahariennes sur le pouvoir glaciogène de l'air en Afrique de l'Ouest*. Thèse, Clermont-Ferrand, 219 p.
- Bessoles, B. 1977. Géologie de l'Afrique : le Craton Ouest-Africain. *Mém. BRGM* **88**, 402 p.
- Beucher, F. 1975. Etude palynologique des formations néogènes et quaternaires au Sahara nord-occidental. *CNRS-CRZA* **20**, 285 p. et 23 pl.
- Bichara, D., Safi, A. et Schneider, J.-L. 1989. La précarité ou même l'absence d'alimentation de la nappe phréatique en zone nord-sahélienne du Tchad. Résultats d'un quart de siècle de surveillance piézométrique. *C.R. Acad. Sci.* **309**, 493-496.
- Bigelow, N., Beget, J. et Powers, R. 1990. Latest Pleistocene increase in wind intensity recorded in eolian sediments from Central Alaska. *Quaternary Research* **34**, 160-168.
- Bigotte, G. et Obelliane, J.M. 1968. Découverte de minéralisations uranifères au Niger. *Mineralium deposita* **3**, 317-333.
- Biro, P., Capot-Rey, R. et Dresch J. 1955. Recherches morphologiques dans le Sahara central. *Trav. Inst. Rech. Sahar.* **XIII**, 13-75.
- Bizard, C., Bonnet, A., Freulon, J.-M., Gerard, G., De Lapparent, A.F., Lelubre, M., Vincent, P. et Wacrenier, P. 1955. Sur l'extension des couches continentales tertiaires ("Continental terminal") dans le Nord-Est du Bassin du Tchad. *C.R. Acad. Sci.* **241**, 1800-1803.
- Black, R. 1978. Propos sur le Pan-Africain. *Bull. Soc. géol. France* **XX**, 6, 843-850.
- Black, R., Caby, R., Moussine-Pouchkine, A., Bayer, R., Bertrand, J.M.L., Boullier, A.M., Fabre, J., Lesquier, A. 1979. Evidence for Precambrian plate tectonics in West Africa. *Nature* **278**, 223-227.

- Blanck, J.-P. 1968. Schéma d'évolution géomorphologique de la vallée du Niger entre Tombouctou et Labbezanga (République du Mali). *Bull. ASEQUA* 19-20, 17-26.
- Blanck, J.-P. et Cloots-Hirsch, A.R. 1977. *Unité écologique expérimentale. Région de Maradi. Etude écodynamique*. DGRST et Univ. Strasbourg, 74 p.
- Bocquier, G. 1973. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. *Mém. ORSTOM* 62, 350 p.
- Bocquier, G. et Gavaud, M. 1964a. *Etude pédologique du Niger oriental*. ORSTOM, Dakar, 347 p.
- Bocquier, G. et Gavaud, M. 1964b. *Carte pédologique de reconnaissance de la république du Niger-Zinder*. ORSTOM.
- Bocquier, G., Rognon, P., Paquet, H. et Millot G. 1977. Interprétation pédologique des dépressions annulaires entourant certains inselbergs. *Sci. Géologiques* 30, 4, 245-253.
- Bonnefille, R. et Vincens, A. 1985. Apport de la palynologie à l'environnement des Hominidés d'Afrique orientale. In : "*L'environnement des Hominidés au Plio-Pléistocène*". Masson, 237-278.
- Bonnet, A. 1961. La "Pebble culture" in situ de l'Idjerane et les terrasses de piedmont du Sahara central. *Bull. Soc. préhist. fr.* LVIII, 51-61.
- Bordeaux, Ct. 1908. Deux contre-rezzous dans l'Ouaddaï, l'Ennedi et le Borkou. *La Géographie* XVIII, 209-226.
- Bottcher, U., Ergenzinger, P.-J., Jaekel, S.H. et Kaiser, K. 1972. Quartäre Seebildungen und ihre Mollusken-Inhalte im Tibesti-Gebirge und seinen Rahmenbereichen der zentralen Ostsahara. *Z. Geomorph. N.F.* 16, 2, 182-234.
- Bouchardeau, A. et Lefevre, R. 1957. *Monographie du lac Tchad*. ORSTOM, Paris, 112 p., 13 pl. et 1 carte.
- Boudouresque, L. 1980. *Contribution de la paléopalynologie à la reconstitution floristique et paléogéographique de la bordure occidentale du bassin des Iullemeden au Crétacé supérieur et au Paléogène (Niger et Mali, Afrique de l'Ouest)*. Thèse 3e cycle, Niamey et Orléans, 245 p., 74 fig. et 8 tabl.
- Boudouresque, L., Dubois, D., Lang, J. et Trichet, J. 1982. Contribution à la stratigraphie et à la paléogéographie de la bordure occidentale du bassin des Iullemeden au Crétacé supérieur et au Cénozoïque (Niger et Mali, Afrique de l'Ouest). *Bull. Soc. géol. France* XXIV, 4, 685-695.
- Boulangé, B. et Eschenbrenner, V. 1971. Note sur la présence de cuirasses témoins des niveaux bauxitiques et intermédiaires. Plateau de Jos (Nigeria). *Bull. ASEQUA* 31-32, 83-92.
- Boulet, R. 1974. Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta : équilibres dynamiques et bioclimats. *Mém. ORSTOM* 85, 272 p.
- Boulet, R. 1976. *Notice des cartes de ressources en sols de la Haute-Volta*. ORSTOM, 97 p. et 5 cartes.
- Boulet, R., Guichard, E. et Vieillefon, J. 1971. Observations pédologiques et leur relation avec les faits géomorphologiques dans le delta du Sénégal. Comparaison avec les observations effectuées au Niger. *Bull. ASEQUA* 29, 103-114.
- Boulvert, Y. 1975. Cartes pédologiques de l'Ouham (République Centrafricaine). Feuilles Bossangoa, Bouca, Batangafo, Kouki au 1/200000e. *Notices explicatives ORSTOM* 58, 152 p. et 4 cartes h.t.
- Boureau, E., Cheboldaëff-Salard, M., Koeniguer, J.-C. et Louvet, P. 1983. Evolution des flores et de la végétation tertiaires en Afrique, au nord de l'équateur. *Bothalia* 14, 3-4, 355-367.
- Bouteyre, G., Cabot, J. et Dresch, J. 1964. Observations sur les formations du Continental terminal et du Quaternaire dans le bassin du Logone (Tchad). *Bull. Soc. géol. France* VI, 23-27.
- BRGM 1978. *Etudes comparatives du projet du goulbi de Maradi. Evaluation et gestion des ressources en eaux souterraines du système aquifère des alluvions*. BRGM et SCET.
- Broecker, W.S. 1992. Defining the boundaries of the Late-Glacial isotope episodes. *Quaternary Research* 38, 135-138.
- Broecker, W.S., Peteet, D.M. et Rind, D. 1985. Does the ocean-atmosphere system have more than one stable mode of operation. *Nature* 315, 21-26.
- Broecker, W.S., Andree, M., Wolfli, W., Oeschger, H., Bonani, G., Kennett, J. and Peteet, D. 1988. The chronology of the last deglaciation: implications to the cause of the Younger Dryas event. *Paleoceanography* 3, 1-19.
- Broecker, W.S., Kennett, J., Flower, B., Teller, J., Trumbore, S., Bonani, G. and Wolfli, W. 1989. Routing of meltwater from the Laurentide ice sheet during the Younger Dryas cold episode. *Nature* 341, 318-321.
- Brookfield, M.E. 1977. The origin of bounding surfaces in ancient aeolian sandstones. *Sedimentology* 24, 303-332.
- Bui, E.N., Dixon, J.B., Shadfan, H. et Wilding, L.P. 1990. Geomorphic features and associated iron oxides of the Dallol Bosso of Niger (West Africa). *Catena* 17, 41-54.
- Burpee, R.W. 1972. The origin and structure of Easterly waves in the lower troposphere of North Africa. *J. Atm. Sci.* 29, 77-90.

- Butzer, K.W. 1976. The Mursi, Nkalabong and Kibish formations, Lower Omo basin, Ethiopia. In: Y. Coppens, F. Clark Howell, G.L. Isaac et R.E.F. Leakey (Eds.), "*Earliest Man and environments in the Lake Rudolf basin*". The Univ. of Chicago Press, 12-23.
- Butzer, K.W. et Hansen, C.L. 1968. *Desert and River in Nubia*. The Univ. Wisconsin Press, Madison, 562 p.
- Busche, D., Draga, M. et Hagedorn, H. 1984. *Les sables éoliens - modelés et dynamique - La menace éolienne et son contrôle - Bibliographie annotée*. GTZ, Eschborn, 770 p.
- Cabot, J. 1965. Le bassin du moyen Logone. *Mém. ORSTOM* 8, 327 p.
- Cabot, J. 1967. *Les lits du Logone, étude géomorphologique*. SEDES, Paris, 120 p. et 1 carte.
- Cadet, D. et Guillot, B. 1991. *EPSAT: estimation des précipitations par satellite*. ORSTOM et Ministère de la coopération, Lannion, 63 p.
- Camps, G. 1969. Amekni. Néolithique ancien du Hoggar. *Mém. CRAPE*, Paris, X, 230 p.
- Camps, G. 1973. L'âge de l'Atérien nord-africain et saharien. In: "*Estudios dedicados al Profesor Dr Luis Pericot*". Univ. Barcelone, Instituto de Arqueologia y Prehistoria, 29-46.
- Campy, M. 1982. *Le Quaternaire Franc-Comtois. Essai chronologique et paléoclimatique*. Thèse, Besançon, 575 p.
- Campy, M. et Macaire, J.J. 1989. *Géologie des formations superficielles*. Masson, 433 p.
- Canon-Cossus, L. 1980. *Recherche de géomorphologie sur les confins nigero-maliens au Nord de Niamey: la dynamique éolienne*. Thèse 3e cycle, Reims et Paris VII, 271 p. et 8 cartes h.t.
- Cant, D.J. et Walker, R.G. 1978. Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. *Sedimentology* 25, 5, 625-648.
- Cantagrel, J-M., Lappartient, J-R. et Tessier, F. 1976. Nouvelles données géochronologiques sur le volcanisme ouest-africain. *4e Réunion Ann. Sc. Terre*, 33.
- Capot-Rey, R. (1970). Remarques sur les ergs du Sahara. *Ann. Géogr.* 79, 431, 2-19.
- Caralp, M-H., Duprat, J., Labeyrie, L.D. et Peypouquet, J-P. 1993. Evolution paléohydrologique des eaux intermédiaires déduite d'une carotte d'âge quaternaire récent dans le canal de Mozambique. Apports des analyses isotopiques et microfauniques. *Bull. Soc. géol. France* 2, 301-312.
- Carbonnel, J-P. 1985. Analysis of the recent climatic evolution in Burkina Faso (Upper Volta). *Natural Resources Forum*, ONU, New-York 9, 1, 53-64.
- Carbonnel, J-P. et Hubert, P. 1985. Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex Haute-Volta). *C.R. Acad. Sci.* 301, II, 941-944.
- Carlier, P., Leblanc, P., Milville, F., Normand, M., Pointet, T., Ricolvi, M., Thiery, D. 1986. *La recharge naturelle des aquifères de socle sous climats sahélien et soudanien. Etude expérimentale au Burkina-Faso*. BRGM, 408 p., 14 h.t. et 70 cartes.
- Carlson, T.N. et Prospero, J.M. 1972. The large-scale movement of Saharan air outbreaks over the northern equatorial Atlantic. *J. Appl. Meteor.* 11, 283-297.
- Carmouze, J-P. 1976. La régulation hydrogéochimique du lac Tchad. Contribution à l'analyse biogéodynamique d'un système lacustre endoréique en milieu continental cristallin. *Trav. doc. ORSTOM* 58, 418 p.
- Carmouze, J-P., Chouret, A., Durand, J-R. 1973. *Données récentes sur l'évolution du lac Tchad en 1972-73*. ORSTOM, N'Djamena, 18 p.
- Carmouze, J-P. et Pedro, G. 1977. Influence du climat sur le type de régulation saline du lac Tchad. Relations avec les modes de sédimentation lacustre. *Sci. Géol. Bull.* 39, 33-49.
- Carre, P. 1972. Quelques aspects du régime des apports fluviaux des matériaux solides en suspension vers le lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Hydro.* IX, 1, 19-46.
- Causse, C., Conrad, G., Fontes, J-Ch., Gasse, F., Gibert, E. et Kassir, A. 1988. Le dernier "Humide" pléistocène du Sahara nord-occidental daterait de 80-100.000 ans. *C.R. Acad. Sci.* II, 306, 1459-1464.
- Chaline, J. 1985. *Histoire de l'Homme et des climats au Quaternaire*, Doin, Paris, 366 p.
- Chamard, P. 1970. *Le bassin-versant de la Sebkhia de Chemchane (Adrar de Mauritanie). Etude géomorphologique*. Thèse 3e cycle, Dakar, 207 p.
- Chamard, P. 1973. Monographie d'une sebkha continentale du Sud-Ouest saharien : la sebkha de Chemchane (Adrar de Mauritanie). *Bull. IFANXXXV*, A-2, 207-249.
- Chamard, P. 1976. Essai sur les paléoclimats du sud-ouest saharien au Quaternaire récent. In: "*La désertification au Sud du Sahara*". Colloque de Nouakchott (1973). Nouv. Edit. Afric., Dakar, 21-26.
- Chamard, P. 1993. Environnement et développement. Références particulières aux états sahéliens membres du CILSS. *Sécheresse* 4, 1, 17-23.
- Chamard, Ph., Courel, M.-F. et Pascual, J.-F. 1978. La cuirasse gravillonnaire du Sahel nigéro-voltaïque (Liptako). *Trav. doc. géogr. tropicale*, CEGET 33, 257-277.
- Chamard, Ph. et Courel, M-F. 1981. De l'autochtonie des dépôts superficiels du Liptako nigéro-voltaïque. *Rev. Géomorph. Dynam.* XXX, 1, 11-20.
- Chamley, H. 1981. Long-term trends in clay deposition in the ocean. *Oceanologica Acta* n° SP, 105-110.

- Chamley, H. 1987. *Sédimentologie*. Dunod, Paris, 175 p.
- Chamley, H. 1988. Contribution éolienne à la sédimentation marine au large du Sahara. *Bull. Soc. géol. France* 6, 1091-1100.
- Chamley H. 1989. *Clay sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin, 623 p.
- Chamley, H. et Diester-Haass, L. 1979. Upper Miocene to Pleistocene climates in northwest Africa deduced from terrigenous components of site 397 sediments. (D.S.D.P. Leg 47A). *Initial Reports of the D.S.D.P.* Washington 47, 1, 641-646.
- Chamley, H. et Giroud d'Argoud, G. 1979. Clay mineralogy of site 397, south of Canary Islands (D.S.D.P. Leg 47A). *Initial Reports of the D.S.D.P.* Washington 47, 1, 595-601.
- Charney, J.G. 1975. Dynamic of deserts and drought in the Sahel. *Q.J. Roy. Meteor. Soc.* 101, 193-202.
- Charney, J., Quirk, W.J., Chow Shu Hsien, Kornfield, J. 1977. A comparative study of albedo change on drought in semi-arid regions. *J. Atm. Sci.* 34, 1366-1385.
- Chepil, W.S., Siddoway, F.H. et Armbrust, D.V. 1962. Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields. *J. Soil and Water Conservation* 17, 62-165.
- Chepil, W.S. et Woodruff, N.P. 1963. The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy* 15, 211-302.
- Chevalier, A. 1901. Sur l'existence probable d'une mer récente dans la région de Tombouctou. *C.R. Acad. Sci.* 132, 926-928.
- Chevalier, A. 1904. De l'Oubangui au lac Tchad à travers le bassin du Chari. *La Géographie* IX, 343-368.
- Chevalier, A. 1932. Sur la mer quaternaire de Tombouctou. *C.R. Acad. Sci.* 194, 1593-1595.
- Cheverry, C. 1974. *Dynamique des sels en milieu continental subaride, dans les sédiments argileux et organiques. Contribution à l'étude pédologique des polders du lac Tchad*. Thèse, Strasbourg, 275 p.,
- Chouret, A. 1977. *La persistance des effets de la sécheresse sur le lac Tchad*. ORSTOM, N'Djamena, 26 p.
- Chouret, A. et al. 1974. Les effets de la sécheresse actuelle en Afrique sur le niveau du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Hydro.* XI, 1, 35-45.
- Chouret, A., Fontes, J-Ch., Mathieu, P. 1977. *La nappe phréatique à la périphérie du lac Tchad (République du Tchad)*. ORSTOM, N'Djamena, 72 p., 72 tabl. et 7 cartes h.t.
- Chouret, A. et Mathieu, P. 1978. *Etude de la nappe phréatique à la périphérie du lac Tchad en territoire tchadien. Résultats de la campagne 1977*. ORSTOM, N'Djamena, 26 p. + annexes.
- Chudeau, R. 1907. D'Alger à Tombouctou par l'Ahaggar, l'Aïr et le Tchad. *La Géographie* XV, 261-270 et 1 carte.
- Chudeau, R. 1908. Etudes sur le Sahara et le Soudan. *Ann. Géogr.*, 34-55.
- Chudeau, R. 1909. *Mission au Sahara II, Sahara soudanais*, Paris.
- Chudeau, R. 1910. Le bassin du Moyen-Niger. *La Géographie* XXI, 389-410.
- Chudeau, R. 1919. La capture du Niger par le Taffassasset. *Ann. Géogr.* 28, 52-60.
- Chudeau, R. 1921a. L'Hydrographie ancienne du Sahara. *C.R. Acad. Sci.* 172, 457-460.
- Chudeau, R. 1921b. Les changements de climat du Sahara pendant le Quaternaire. *C.R. Acad. Sci.* 172, 604-607.
- Chudeau, R. 1921c. Le problème du dessèchement en Afrique occidentale. *Bull. Comité Etudes Historiques et Scientifiques de l'AOF* 3, 353-369.
- Citeau, J., Cammas, J.P., Gouriou, Y. et Guillot, B. 1986. Remarques sur la migration de la zone inter-tropicale de convergence en Atlantique, les température de surface du Golfe de Guinée, et la pluviométrie en Afrique de l'Ouest sahélienne et au Nord-Est du Brésil. In: H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.), *"Changements Globaux en Afrique durant le Quaternaire: Passé-Présent-Futur"*. Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris, 67-75.
- Clark, J.D. 1971. An archaeological survey of Northern Aïr and Tenere. British expedition to the Aïr mountains. *Geographical J.* 137, 4, 455-457.
- Clark, J.D. 1976. Epi-paleolithic aggregates from Greboun Wadi, Aïr and Adrar Bous, North-Western Ténéré, Republic of Niger. In: *"VIIe Congr. Panafr. Préhistoire et d'Etudes du Quaternaire"*. Addis Abeba, 1971, 67-78.
- Clermonté, J., Yahaya, M., Lang, J. et Oumarou, J. 1991. Un bassin paléozoïque et mésozoïque dans une zone de décrochement: le Tim Mersoï dans la région d'Arlit (Niger). *C.R. Acad. Sci.* 312, II, 1189-1195.
- COHMAP 1988. Climatic changes of the last 18,000 years: observations and model simulations. *Science* 241, 1043-1052.
- Cole, R.D. et Picard, M.D. 1978. Comparative mineralogy of nearshore and offshore lacustrine lithofacies. Parachute Creek Member of the Green River Formation. Piceance Creek Basin Colorado, and eastern Uinta Basin, Utah. *Geol. Soc. America Bull.* 89, 441-1454.
- Colin Kaczala, C. 1986. *Profils isotopiques (¹⁸O et ²H) de fluides (eau liquide, vapeur et CO₂) de la zone non saturée sous climat désertique: application à l'évaluation de l'évaporation des nappes libres au Sahara nord-occidental*. Thèse, Paris-Sud, 171 p.

- Collinson, J.D. 1986. Alluvial sediments. In: H.G., Reading (Ed.), "*Sedimentary environments and facies*". Blackwell Scientific Publ., Oxford, 20-62.
- Combourieu-Nebout, N. 1987. *Les premiers cycles glaciaire-interglaciaire en région méditerranéenne d'après l'analyse palynologique de la série plio-pléistocène de Crotona (Italie méridionale)*. Thèse, Montpellier, 161 p. + 4 pl. photo. et 7 tabl. h.t.
- Conrad, G. 1963. Synchronisme du dernier Pluvial dans le Sahara septentrional et le Sahara méridional. *C.R. Acad. Sci.* **257**, 2506-2509.
- Conrad, G. 1969. L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien (Saoura, Erg Chech-Tanezrouft, Ahnet-Mouydir). *CNRS-CRZA* **10**, 527 p. + 11 pl. et 5 cartes h.t.
- Conrad, G., Marce, A., Olive, P. 1975. Mise en évidence, par le tritium, de la recharge actuelle des nappes libres de la zone aride saharienne (Algérie). *J. Hydrology* **27**, 207-224.
- Conrad, G. et Olive, P. 1972. Premières données sur les teneurs en tritium des nappes aquifères du Sahara nord-occidental et central (Algérie); conséquences hydrogéologiques. *C.R. Acad. Sci. D*, **274**, 2019-2022.
- Cooke, H.B.S. 1985. Plio-Pléistocène Suidae in relation to african Hominid deposits. In: "*L'environnement des Hominidés au Plio-Pléistocène*". Masson, 101-117.
- Cooke, H.J. (1976). The palaeogeography of the Middle Kalahari of Northern Botswana and adjacent areas. In: "*Proceedings of the symposium on the Okavango Delta and its future utilisation*". Botswana Society, Gaborone, 21-28.
- Cooke, H.J. et Verstappen, H.Th. 1984. The landforms of the western Makgadikgadi basin in northern Botswana, with a consideration of the chronology of the evolution of Lake Palaeo-Makgadikgadi. *Z. Geomorph. N.F.* **28**, 1, 1-19.
- Coppens, Y. 1960. Le Quaternaire fossilifère de Koro-Toro (Tchad). Résultats d'une première mission. *C.R. Acad. Sci.* **251**, 2385-2386.
- Coppens, Y. 1966. Les cultures protohistoriques et historiques du Djourab. In: "*Actes du 1er colloque international d'Archéologie Africaine*" (Fort-Lamy). UNESCO-CNRS (1969), 129-146.
- Coppens, Y. 1967a. De l'archéologie à la paléogéographie. *Bull. ASEQUA*, Dakar **14-15**, 11-17.
- Coppens, Y. 1967b. Les faunes de vertébrés quaternaires du Tchad. In: W.W. Bishop et J.D. Clark (Eds.), "*Background to evolution in Africa*". The Univ. of Chicago Press, 89-97.
- Coppens, Y. 1972. Tentative de zonation du Pliocène et du Pléistocène d'Afrique par les grands mammifères. *C.R. Acad. Sci. D* **274**, 181-184.
- Coppens Y. et Howell, F.C. 1976. Mammalian faunas of the Omo group: distributional and biostratigraphical aspects. In: Y. Coppens, F. Clark Howell, G.L. Isaac et R.E.F. Leakey (Eds.), "*Earliest Man, and environments in the Lake Rudolf basin*". The Univ. of Chicago Press, 177-192.
- Coppens, Y. et Koeniguer, J-C. 1976. Signification climatique des paléoflores ligneuses du Tertiaire et du Quaternaire du Tchad. *Bull. Soc. géol. France* **4**, 1009-1015.
- Cornet, Cpt. 1910. Au Tchad, trois ans chez les Sénoussistes, les Ouaddaïens et les Kirdis. Plon, 2d éd., 325 p., 26 ph. et 2 cartes h.t.
- Costello, W.R. et Walker, R.G. 1972. Pleistocene sedimentology, Credit River, Southern Ontario: a new component of the braided river model. *J. Sedimentary Petrology* **42**, 389-400.
- Coudé-Gaussen, G. 1984. Le cycle des poussières éoliennes désertiques actuelles et la sédimentation des loess péri-désertiques quaternaires. *Bull. Centre Rech. Elf-Aquitaine*, Pau **8**, 1, 167-182.
- Coudé-Gaussen, G. 1988. Contribution à l'étude sédimentologique des poussières sahariennes et à leur identification dans les sédiments continentaux et marins. *Bull. Soc. géol. France* **6**, 1063-1072.
- Coudé-Gaussen, G. et Blanc, P. 1985. Présence de grains éolisés de palygorskite dans les poussières actuelles et les sédiments récents d'origine désertique. *Bull. Soc. géol. France* **4**, 571-579.
- Cour, P. et Duzer, D. 1976. Persistance d'un climat hyperaride au Sahara central et méridional au cours de l'Holocène. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* **XVIII**, 2-3, 175-197.
- Courel, M-F. 1977. *Etude géomorphologique des dunes du Sahel (Niger nord-occidental, Haute-Volta septentrionale)*. Thèse 3e cycle, Paris VI, 289 p., 25 pl. photo. et 1 carte h.t.
- Courel, M-F. 1984. *Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites*. Thèse, Paris I et IBM, 473 p.
- Courel, M-F. 1986. Variations récentes de l'albédo de surface dans les régions sahéliennes et critique du mécanisme biogéophysique de Charney. In: H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.), "*Changements Globaux en Afrique durant le Quaternaire: Passé-Présent-Futur*". Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris, 87-90.
- Courel, M-F. et Chamard, Ph. 1987a. Apparition de nouvelles formes dunaires dans l'Azawad et le Gourma septentrional (Mali). *Rev. Photo-Interprétation* **87-3**, 3, 25-33.

- Courel, M-F. et Chamard, Ph. 1987b. Apparition de nouvelles formes dunaires dans l'Azawad et le Gourma septentrional (Mali). In: M. Erpicum (Ed.), "Actes des journées de Climatologie". Presses Universitaires de Liège, 7-28.
- Courtin J. 1966a. Le Néolithique du Borkou, Nord-Tchad. *L'Anthropologie* 70, 3-4, 269-282.
- Courtin, J. 1966b. Le Néolithique du Borkou, Nord-Tchad. In: "Actes du 1er colloque international d'Archéologie Africaine" (Fort-Lamy, décembre 1966). UNESCO-CNRS (1969), 147-159.
- Craig, C.Y. 1965. The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. In: E. Tongiorgi (Ed.), "Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures". CNR, Pise, 161-182.
- Cratchley, C.R., Louis, P. et Ajakaiye, D.E. 1984. Geophysical and geological evidence for the Benue-Chad Basin Cretaceous rift valley system and its tectonic implications. *J. Afr. Earth Sci.* 2, 2, 141-150.
- Daly, M.C., Chorowicz, J. et Fairhead, J.D. 1989. Rift basin evolution in Africa: the influence of reactivated steep basement shear zones. In: M.A. Cooper et G.D. Williams (Eds.), "Inversion Tectonics". Geological Soc. Spec. Publ. 44, 309-344.
- Dalloni, M. 1934. Mission au Tibesti. *Mém. Acad. Sci. Institut de France* 6, 1.
- Dansgaard, W., White, J.W.C. et Johnsen, S.J. 1989. The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature* 339, 532-534.
- Dean, W.E. et Fouch, T.D. 1983. Lacustrine environment. In: P.A. Scholle, D.G. Bebout et C.H. Moore (Eds.), "Carbonate depositional environments". AAPG Mem. 33, 97-130.
- De Beauregard, J., Bouchadeau, A. et Roch, E. 1950. Les Coups de Sabre des chutes Gauthiot (Territoire du Tchad). *C.R. Acad. Sci.* 230, 223-224.
- Dechamps, R. et Maes, F. 1985. Essai de reconstitution des climats et des végétations de la basse vallée de l'Ormo au Plio-Pléistocène à l'aide de bois fossiles. In: "L'environnement des Hominidés au Plio-Pléistocène". Masson, 175-222.
- Deines, P. 1980. The isotopic composition of reduced inorganic carbon. In: P. Fritz et J.Ch. Fontes (Eds.), "Handbook of environmental Isotope Geochemistry, the Terrestrial Environment". Elsevier, 329-406.
- Delfaud, J. 1980. Les formations sédimentaires des bassins et plates-formes mésozoïques et cénozoïques en France. *Mém. BRGM* 107, 260 -265.
- Delibrias, G. et Hugot, H. 1962. Datation par la méthode dite "du C¹⁴" du Néolithique de l'Adrar Bous (Ténéréen). In: H. Hugot (Ed.), "Missions Berliet Ténéré-Tchad". Arts et Métiers graphiques, Paris, 71-72.
- Deruelle, B., Moreau, C., Nkonguin Nsifa, E. 1983. Sur la récente éruption du Mont Cameroun (16 octobre-12 novembre 1982). *C.R. Acad. Sci.* 296, 807-812.
- Desborough, G.A. 1978. A biogenic-chemical stratified lake model for the origin of oil shale of the Green River Formation; an alternative to the Playa-lake model. *Geol. Soc. America Bull.* 89, 961-971.
- Destenave, Cl. 1903. Le lac Tchad. *Rev. Générale des Sci. pures et appl.* XIV, 649-662 et 717-727.
- Dettwiller, J. 1965. Note sur la structure du Front Intertropical boréal sur le nord-ouest de l'Afrique. *La Météorologie* 80, 337-348.
- Devillers, Ch. 1948. Les dépôts quaternaires de l'Erg Tihodaine (Sahara central). *C.R. Somm. Soc. géol. France*, 189-191.
- Dewolf, Y. et Mainguet, M. 1976. Une hypothèse éolienne et tectonique sur l'alignement et l'orientation des buttes tertiaires du Bassin de Paris. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* XVIII, 5, 415-425.
- Dhonneur, G. 1974. *Nouvelle approche des réalités météorologiques de l'Afrique occidentale et centrale*. Thèse Doct. Ing., ASECNA, Dakar, 2 t., 358 et 472 p.
- Dhonneur, G. 1981. Sécheresse et/ou désertification au Sahel. *La Météorologie* VI, 24, 119-123.
- Dhonneur, G. 1985. *Traité de météorologie tropicale (première partie)*. Météo. Nationale, Paris, 151 p.
- D'Huart, Lt. 1904. Le Tchad et ses habitants. *La Géographie* IX, 161-176.
- Dieleman, P.J. et De Ridder, N.A. 1963. Studies of salt and water movement in the Bol-Guini Polder, Chad Republic. *J. Hydrology* 1, 4, 311-343.
- Dieng, B. 1987. *Paléohydrologie et hydrogéologie quantitatives du bassin sédimentaire du Sénégal. Essai d'explication des anomalies piézométriques observées*. Thèse E.N. Sup. Mines Paris, 172 p. et annexes.
- Dieng, B. et Ledoux E. 1987. Les nappes déprimées d'Afrique occidentale. Une explication paléohydrologique. *Hydrogéologie* 2, 99-108.
- Diester-Haass, L. 1979. DSDP site 397: climatological, sedimentological, and oceanographic changes in the Neogene autochthonous sequence. *Initial Reports of the D.S.D.P.*, Washington 47, 1, 647-670.
- Diester-Haass, L. et Chamley, H. 1982. Oligocene and post-Oligocene history of sedimentation and climate off Northwest Africa (DSDP site 369). In: U. Von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein et E. Seibold (Eds.), "Geology of the Northwest African Continental Margin". Springer-Verlag, Berlin, 529-544.
- Dikouma, M.S. 1990. *Fluctuations du niveau marin au Maastrichtien et au Paléocène dans le bassin intracratonique des Iullemmeden (Ader-Doutchi, Niger)*. Thèse Dijon et Niamey, 272 p.

- Dincer, T., Al-Mugrin, A. et Zimmermann, U. 1974. Study of the infiltration and recharge through the sand dunes in arid zones with special reference to the stable isotopes and thermonuclear tritium. *J. Hydrology* 23, 79-109.
- Dincer, T., Child, S. et Khupe, B. 1987. A simple mathematical model of a complex hydrologic system, Okavango Swamp, Botswana. *J. Hydrology* 93, 41-65.
- Dincer, T., Hutton, L.G., Khupe, B. 1981. Study, using stable isotopes of flow distribution, surface-groundwater relations and evapotranspiration in the Okavango delta, Botswana. *IAEA, Ser. STI Pub.* 493, 3-26.
- Dorize, L. 1974. L'oscillation pluviométrique récente sur le bassin du lac Tchad et la circulation atmosphérique générale. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* XVI, 4, 393-420.
- Douvillé, H. et Tilho, J. 1933. La géologie de la région au Nord du Tchad. *C.R. Acad. Sci.* 197, 1012-1016.
- Drochon, A. 1971. *La saison sèche au Sénégal. Les perturbations d'altitude sur le Sénégal et la Mauritanie.* ASECNA, Dakar, 43 p.
- Dubar, C. 1988. *Eléments de paléohydrologie de l'Afrique saharienne: les dépôts quaternaires d'origine aquatique du Nord-Est de l'Aïr (Niger, PALHYDAF site 3).* Thèse, Orsay, 164 p. et 72 figures, 11 tabl. et 67 ph. h.t.
- Dubief, J. 1953. *Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara.* Thèse, Alger, et Serv. Col. et Hydr., Etudes Scient., 458 p., 41 fig. et 3 cartes h.t.
- Dubief, J. 1956. Note sur l'évolution du climat saharien au cours des derniers millénaires. *Vle Congrès Internat. du Quaternaire*, Rome-Pise, 1953, II, 848-851.
- Dubief, J. 1959-1963. *Le climat du Sahara.* Mém. Inst. Rech. Sahar., Alger, t. 1 (températures), 312 p., t. 2 (précipitations), 274 p.
- Dubief, J. 1979. Review of the North African climate with particular emphasis on the production of eolian dust in the Sahel zone and in the Sahara. In: C. Morales (Ed.), "Saharan dust. Mobilization, transport, deposition". J. Wiley and Sons, 27-48.
- Dubois, D. 1979. *Etude géologique de formations oolithiques ferrugineuses du bassin des Iullemeden (Rép. du Niger).* Thèse 3e cycle, Niamey et Orléans, 123 p., 62 fig. et 7 pl. photo.
- Dubois, D., Icole, M. et Trichet, J. 1978. Les formations ferrugineuses du Continental terminal du bassin des Iullemeden (Niger occidental): sédiments, transformations post-sédimentaires et cuirassements. *Trav. doc. géogr. tropicale*, CEGET 33, 359-378.
- Dubois, D., Icole, M. et Trichet, J. 1984. Evolution géomorphologique de la vallée du Niger aux abords de Niamey (République du Niger). *Bull. Soc. géol. France* 6, 1305-1318.
- Dubois, D. et Lang, J. 1981. Etude lithostratigraphique et géomorphologique du Continental terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Iullemeden (Niger). *Bull. IFAN*, Dakar 43, sér. A, 1-2, 1-42.
- Dubois, R. 1903. Bas Chari, Rive Sud du Tchad et Bahr El Ghazal. *Ann. Géogr.* XII, 339-356 et 1 carte.
- Dupont, B. 1967a. *Premières données sur les apports éoliens à Fort-Lamy.* ORSTOM, Fort-Lamy, 5 p.
- Dupont, B. 1967b. *Etude des formations sédimentaires du Kanem. Premiers résultats.* ORSTOM, Fort-Lamy, 150 p.
- Dupont, B. 1968. *Premières observations sur la physico-chimie du Chari et du Logone (juillet 1965-mars 1967).* ORSTOM, N'Djamena, 20 p.
- Dupont, B. 1970. Distribution et nature des fonds du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* II, 1, 9-42.
- Dupont, B. et Delaune, M. 1970. Etude de quelques coupes dans le Quaternaire récent du Sud du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* II, 1, 49-60.
- Dupont, B. et Delibrias, G. 1970. Datation par le carbone 14 d'un niveau sédimentaire de l'archipel du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* II, 1, 43-47.
- Dupont, B. et Fraquet, P. 1972. *Etude bathymétrique et sédimentologique d'un bras du lac Tchad (Yakoua-Mandi).* SCET-Intern. et ORSTOM, N'Djamena, 50 p.
- Dupont, B. et Lemoalle, J. 1971. Les oolithes et pseudo-oolithes ferrugineuses du lac Tchad. *C.R. Somm. Soc. géol. France* 4, 309-310.
- Dupont, L.M. et Hooghiemstra, H. 1989. The Saharan-Sahelian boundary during the Brunhes chron. *Acta Bot. Neerl.* 38, 4, 405-415.
- Dupont, J-P. 1981. *Relations entre Bios et phénomènes sédimentaires intertidaux: le modèle de la baie de la Somme.* Thèse 3ème cycle, Rouen, 310 p.
- Durand, A. 1978. *Etude du Quaternaire récent dans la région des deltas du Chari (bassin du Tchad); rapport préliminaire.* ORSTOM N'Djaména et Univ. Niamey, 123 p.
- Durand, A. 1980. Cordons dunaires périlacustres et oscillations du lac Tchad au Quaternaire récent. *26e Congr. Géol. Int.*, Paris II, 650.
- Durand, A. 1982. Oscillations of Lake Chad over the past 50,000 years: new data and new hypothesis. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 39, 37-53.
- Durand, A. 1993. Enregistrement sédimentaire de la dynamique climatique au Quaternaire supérieur dans le Sahel central (Niger et Tchad). Thèse Sciences, Dijon, 562 p.

- Durand, A., Fontes, J.-Ch., Gasse, F., Icole, M. et Lang, J. 1982. North-West of lake Chad during Quaternary: alluvial, eolian, palustrine and lacustrine paleoenvironments. *XIe congr. INQUA*, Moscou II, 67.
- Durand, A., Fontes, J.-Ch., Gasse, F., Icole, M. et Lang, J. 1984. Le Nord-Ouest du lac Tchad au Quaternaire: étude de paléoenvironnements alluviaux, éoliens, palustres et lacustres. *Palaeoecology of Africa*, Balkema 16, 215-243.
- Durand, A. et Icole, M. 1978. *Rapport de mission dans le SE du Niger (mars 1978)*. Univ. Niamey, 20 p.
- Durand, A., Icole, M. et Bieda, S. 1981-1982. Sédiments et climats quaternaires du Sahel central : exemple de la vallée de Maradi (Niger méridional). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* XII, 1, 77-90.
- Durand, A. et Lang, J. 1986. Approche critique des méthodes de reconstitution paléoclimatique : le Sahel nigéro-tchadien depuis 40.000 ans. *Bull. Soc. géol. France* 2, 267-278.
- Durand, A. et Lang, J. 1991. Breaks in the continental environmental equilibrium and intensity changes in aridity over the past 20,000 years in the Central Sahel. *J. Afr. Earth Sci.* 12, 1-2, 199-208.
- Durand, A., Lang, J., Morel, A. et Roset, J.-P. 1983. Evolution géomorphologique, stratigraphique et paléoclimatique au Pléistocène supérieur et à l'Holocène de l'Air oriental (Sahara méridional, Niger). *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.* 24, 1, 47-59.
- Durand, A. et Mathieu, P. 1979-1980. Le Quaternaire supérieur sur la rive sud du lac Tchad (République du Tchad). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* XI, 2, 189-203.
- Durand, A. et Mathieu, P. 1980. Evolution paléogéographique et paléoclimatique du bassin tchadien au Pléistocène supérieur. *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.* 22, 4-5, 329-341.
- Durand, A. et Paris, F. 1986. Peuplements et climats holocènes de l'Azawagh (Niger nord-occidental). Premiers résultats. In: H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.), "*Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire: Passé-Présent-Futur*". Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris, 127-130.
- Echallier, J.-C. et Roset, J.-P. 1986. La céramique des gisements de Tagalagal et de l'Adrar Bous 10 (Aïr, République du Niger). Résultats des analyses. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Humaines* 22, 1, 151-158.
- Eicher, U. 1980. Pollen- und sauerstoffisotopenanalysen an spätglazialen profilen vom Gerzensee, Faulenseemoos und vom Regenmoos ob Boltigen. *Mitteilungen der Naturf. Gesellch. Bern* 37, 65-80.
- Eicher, U. et Siegenthaler, U. 1976. Palynological and oxygen isotope investigations on Late Glacial sediment cores from Swiss Lakes. *Boreas* 5, 109-117.
- El Hamet, M.O. 1983. *Analyse géologique et pétrographique de la formation de Tarat dans les carrières SOMAIR (Paléozoïque supérieur). Essai d'interprétation paléoclimatique à la lumière de l'épisode glaciaire dévono-carbonifère (Région d'Arli, Niger septentrional)*. Thèse 3e cycle, Dijon et Niamey, 290 p. et 4 pl. photo.
- Elliott, T. 1986. Deltas. In: H.G. Reading (Ed.), "*Sedimentary environments and facies*". Blackwell Scientific Publ., Oxford, 113-154.
- Elouard, P. 1959. Etude géologique et hydrogéologique des formations du Guelba mauritanien et de la vallée du Sénégal. *Mém. BRGM* 7, 247 p.
- Ergenzinger, P.J. 1969. Rumpfflächen, terrassen und seeablagerungen im süden des Tibestigebirges. *Tagungsbericht und wissenschaftliche Abh. des Deutschen Geograph.*, Wiesbaden 36, 412-427.
- Ergenzinger, P.J. 1971. *Das südliche Vorland des Tibesti. Beiträge zur Geomorphologie der südlichen zentralen Sahara*. Habilitation, Berlin, 242 p.
- Ergenzinger, P.J. 1978. Das Gebiet des Enneri Misky im Tibesti-Gebirge, République du Tchad, Erläuterungen zu einer geomorphologischen Karte 1/200.000. *Berliner Geographische Abhandlungen* 23, 49 p., 24 photo. et 1 carte.
- Erhart, H., Pias, J. et Leneuf, N. 1954. *Etude pédologique du bassin alluvionnaire du Logone-Chari*. ORSTOM, Paris, 234 p.
- Fabre, J. et Petit-Maire, N. 1988. Holocene climatic evolution at 22-23° N form two paleolakes in the Taoudenni area (Northern Mali). *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.* 65, 133-148.
- Fairbanks R.G. 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* 342, 637-642.
- Fairhead, J.D. 1986. Geophysical controls on sedimentation within the African Rift Systems. In: L.E. Frostick, R.W. Renault, I. Reid et J.J. Tiercelin (Eds.), "*Sedimentation in the African Rifts*". Geological Soc. Spec. Publ. 25, 19-27.
- Fairhead, J.D. 1988. Mesozoic plate tectonic reconstructions of the central South Atlantic Ocean: the role of the West and Central African rift system. *Tectonophysics* 15, 5, 181-191.
- Fairhead, J.D. et Green, C.M. 1989. Controls on rifting in Africa and the regional tectonic model for the Nigeria and East Niger rift basins. *J. African Earth Sci.* 8, 2-4, 231-249.
- Falconer, D.D. 1911. *Geology and Geography of Northern Nigeria*. Macmillan, Londres, 295 p.
- Faure, H. 1959. Sur quelques dépôts du Quaternaire du Ténéré (Niger). *C.R. Acad. Sci.* 249, 2807-2809.

- Faure, H. 1961. *Reconnaissance hydrogéologique du Niger oriental. Eléments pour l'étude hydrogéologique du Ténéré et des régions voisines (secteur Aïr-Ténéré-Bilma)*. BRGM, Dakar, 38 p.
- Faure, H. 1962. *Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post-paléozoïques du Niger oriental*. Thèse, Paris et *Mém. BRGM* 47, 620 p. et 1 carte h.t., et Publ. Dir. Mines Géol. Rép. Niger, 1 (1966a).
- Faure, H. 1965. *Inventaire des évaporites du Niger (mission 1963)*. BRGM, Dakar, 162 p. et 6 pl. photo.
- Faure, H. 1966b. Evolution des grands lacs sahariens à l'Holocène. *Quaternaria* 15, VIII, 167-175.
- Faure, H. 1969. Lacs quaternaires du Sahara. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, Stuttgart 17, 131-146.
- Faure, H. 1971. Relations dynamiques entre la croûte et le manteau d'après l'étude de l'évolution paléogéographique des bassins sédimentaires. *C.R. Acad. Sci.* 272, 3239-3242.
- Faure, H. 1978. Formations superficielles et géologie. In: "*Etude et cartographie des formations superficielles : leurs applications en régions tropicales*". Coll. interdisciplinaire franco-brésilien et Univ. Sao Paulo, 1983, I, 39-54.
- Faure, H. 1987. Mécanisme d'amplification du cycle climatique global : l'effet de couvercle de la glace de mer contrôle le CO₂ atmosphérique. *C.R. Acad. Sci.*, 523-527.
- Faure, H., Manguin, E. et Nydal, R. 1963. Formations lacustres du Quaternaire supérieur du Niger oriental: diatomites et âges absolus. *Bull. BRGM* 3, 41-63.
- Faure, H. et Servant, M. 1970. Evolution récente d'un bassin continental : le Tchad. Programme d'étude. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* II, 1, 5-8.
- Féau, C. 1976. *Unité écologique expérimentale de Maradi. Etude morphopédologique*. GERDAT-IRAT.
- Ferring, C.R. 1975. The Aterian in North African Prehistory. In: F. Wendorf et A.E. Marks (Eds.), "*Problems in prehistory: North Africa and the Levant*". Southern Methodist Univ., Dallas, 113-126.
- Feyler, L. 1935a. Sur le tracé de la vallée du Tafassasset au nord du Grand Erg du Ténéré et la probabilité de son prolongement, au Sud, jusqu'au Tchad. *C.R. Acad. Sci.* 200, 721-724.
- Feyler, L. 1935b. Observations de géographie physique dans le Ténéré. Région du Tafassasset, entre Ahaggar, Aïr, Tibesti et Tchad. *Bull. Ass. Géographes Fr.* 89, 91-95.
- Flint, R.F. 1971. *Glacial and Quaternary Geology*. John Wiley and Sons, New York, 842 p.
- Flohn, H. 1964. Investigations on the tropical Easterly Jet. *Bonner Meteo. Abh.* 4, 38 p.
- Folger, D.W. 1970. Wind transport of land-derived mineral, biogenic and industrial matter over the North Atlantic. *Deep-Sea Res.* 17, 337-352.
- Folk, R.L. 1971. Longitudinal dunes of the northwestern edge of the Simpson desert, Northern Territory, Australia, 1. Geomorphology and grain size relationships. *Sedimentology* 16, 1-2, 5-54.
- Folland, C.K., Palmer, T.N., Parker, D.E. 1986. Sahel rainfall and worldwide sea temperatures 1901-1985: observational modelling and simulation studies. *Nature* 320, 602-607.
- Fontaine, B. 1981. *Pluviométrie Soudano-Sahélienne et dynamisme atmosphérique sur l'Afrique occidentale et l'Atlantique nord: Essai sur la variabilité physiologique et génétique d'une zone limite*. Thèse 3e cycle, Dijon, 2 vol., 327 p.
- Fontaine, B. 1989. *Les moussons pluvieuses dans l'espace africano-asiatique: Afrique occidentale et Inde*. Thèse, Dijon, 2 vol.
- Fontaine, B. et Bigot, S. 1991. Modes de sécheresse ouest-africains et température de surface océanique. *Veille climatique satellitaire*, ORSTOM-CNRS, Lannion 38, 37-49.
- Fontaine, B. et Perard J. 1986. Irrégularité des pluies et dynamique de l'atmosphère en Afrique de l'Ouest: comparaison des périodes 1953-1963 et 1968-1975. In: H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.), "*Changements Globaux en Afrique durant le Quaternaire: Passé -Présent - Futur*". Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris, 139-144
- Fontes, J-Ch. 1976. *Isotopes du milieu et cycles des eaux naturelles: quelques aspects*. Thèse, Paris VI, 208 p.
- Fontes, J-Ch. 1983. Groundwater dating. In: *Guide book on the use of isotope techniques in hydrology*. AIEA, Vienne, 285.
- Fontes, J-Ch. (1986). Géochimie isotopique et paléohydrologie africaine au Quaternaire : problèmes, acquis et perspective. In : H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.), "*Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé-Présent-Futur*". Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris, 145-148.
- Fontes, J-Ch., Boulangé, B. et Rodrigo, L.A. 1981. Carbone 14, carbone 13 et oxygène 18 dans les sédiments carbonatés du lac Titicaca. Premières estimations des vitesses de sédimentation et essai de paléoclimatologie. *C.R. Acad. Sci.* 293, 53-56.
- Fontes, J-Ch., Coque, R., Dever, L., Filly, A. et Mamou, A. 1983. Paléohydrologie isotopique de l'Oued el Akarit (Sud Tunisie) au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* 43, 41-62.

- Fontes, J-Ch. et Gasse, F. 1986. Palhydaf : état d'avancement, novembre 1985. In : H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.), "Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé - Présent-Futur". Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris, 149-152.
- Fontes, J-Ch. et Gasse, F. 1989. On the ages of humid Holocene and late Pleistocene phases in North Africa. Remarks on "Late Quaternary climatic reconstruction for the Maghreb (North Africa)" by P. Rognon. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **70**, 393-398.
- Fontes, J-Ch. et Gasse, F. 1991. PALHYDAF (Palaeohydrology in Africa) program: objectives, methods, major results. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **84**, 191-215.
- Fontes, J-Ch., Gasse, F., Callot, Y., Carbonnel, P., Plaziat, J-C., Dupeuble, P-A. et Kaczmariska, I. 1985. Fresh-water to marine-like environments from Holocene lakes in Northern Sahara. *Nature* **317**, 608-610.
- Fontes, J-Ch., Gonfiantini, R. et Roche, M.A. 1970. Deutérium et oxygène 18 dans les eaux du lac Tchad. *Isotope hydrology*, AIEA, Vienne, 387-402.
- Fontes, J-Ch., Yousfi, M. et Allison, G.B. 1986. Estimation of long-term diffuse groundwater discharge in the northern Sahara using stable isotope profiles in soil water. *J. Hydrology* **86**, 315-327.
- Freydenberg, H. 1907a. Explorations dans le bassin du Tchad. *La Géographie* **XV**, 161-170.
- Freydenberg, H. 1907b. Etude pétrographique des roches du Borkou et du Bahr-el-Ghazal, rapportées par le capitaine Mangin. *La Géographie* **XV**, 170.
- Freydenberg, H. 1908. *Le Tchad et le Bassin du Chari*. Thèse, Paris, Schmidt, 187 p. et 4 cartes.
- Friedman, G.M. et O'Neil, J. 1977. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. In: M. Fleischer (Ed.), "Data of geochemistry". Geol. Surv. Prof. Paper, 120 p.
- Fryberger, S.G., Schenk, C.J. et Krystinik L.F. 1988. Stokes surfaces and the effects of near-surface groundwater-table on aeolian deposition. *Sedimentology* **35**, 21-41.
- Furon, R. 1968. *Géologie de l'Afrique*. Payot, Paris, 3e éd., 374 p.
- Gabriel, B. 1972. Terrassenentwicklung und vorgeschichtliche Umweltbedingungen im Enneri Dirennao (Tibesti, östliche Zentralsahara). *Z. Geomorph. N.F., Suppl.* **15**, 113-128.
- Gac, J-Y. 1979. *Géochimie du bassin du lac Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation*. Thèse, Strasbourg et Trav. doc. ORSTOM **123**, 251 p. (1980).
- Gac, J-Y. et Faure, H. 1987. Le "vrai" retour à l'humide au Sahel est-il pour demain ? *C.R. Acad. Sci.* **305**, II, 777-781.
- Garba, Z., Durand, A. et Lang, J. 1995. Enregistrement sédimentaire des variations de la dynamique éolienne pendant la transition Tardiglaciaire/Holocène à la limite Sahara/Sahel (Termit, Bassin du lac Tchad). *Z. Geomorph. N.F.* accepté.
- Garde, G. 1909a. Résultats de l'exploration géologique et minéralogique de l'Eguéfi. *C.R. Acad. Sci.* **148**, 1616-1619.
- Garde, G. 1909b. Aperçu géologique sur les régions situées à l'est et au nord-est du Tchad. *C.R. Acad. Sci.* **148**, 1698-1700.
- Garde, G. 1910. Les régions au nord-est du Tchad. *La Géographie* **XXI**, 237-244.
- Garde, G. 1911. *Description géologique des régions situées entre le Niger et le Tchad et à l'Est et au Nord-Est du Tchad*. Thèse, Paris, librairie scientifique A. Hermann et Fils, 284 p., 1 pl. et 2 cartes.
- Gardner, J.V. et Hays, J.D. 1976. Responses of sea-surface temperature and circulation to global climatic change during the past 200,000 years in the Eastern Equatorial Atlantic Ocean. *Geol. Soc. of America Mem.* **145**, 221-246.
- Gasse, F. 1975. *L'évolution des lacs de l'Afar central (Ethiopie et TFAI) du Plio-Pléistocène à l'Actuel : reconstitution des paléo-milieus lacustres à partir de l'étude des diatomées*. Thèse, Paris VI, 3 vol., 406 p. et 22 fig. h.t., 59 pl. photo. et 103 p. annexes.
- Gasse, F. 1977. Les groupements de Diatomées planctoniques : base de la classification des lacs quaternaires de l'Afar central (Ethiopie et TFAI). *Suppl. Bull. AFEQ* **1**, **50**, 207-234.
- Gasse, F. 1980. Les diatomées plio-pléistocènes du Gadeb (Ethiopie). Systématique, paléoécologie, biostratigraphie. *Rev. Algol., Mém. HS* **3**, 249 p, 62 pl.
- Gasse, F. 1986. East African diatoms and water pH. In: J.P. Smol, R.W. Battarbee, R.B. Davis and Meriläinen (Eds.), "Diatoms and lake acidity". Junk, Dordrecht, 149-168.
- Gasse, F. 1987a. Paléolacs. In: J-C. Miskovsky (Ed.), "Géologie de la Préhistoire". Géopré, Paris, 161-168.
- Gasse, F. 1987b. Diatoms for reconstructing palaeoenvironments and palaeohydrology in tropical semi-arid zones. *Hydrobiologia* **154**, 127-163.
- Gasse, F., Fontes, J-Ch., Plaziat, J-C., Carbonnel, P., Kaczmariska I., De Deckker, P., Soulié-Marsche, I., Callot, Y. et Dupeuble, P-A. 1987. Biological remains, geochemistry and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrological changes in the Holocene lakes from North Sahara. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **60**, 1-46.

- Gasse, F., Fontes, J.-Ch., et Rognon, P. 1974. Variations hydrologiques et extension des lacs holocènes du désert Danakil. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **15**, 109-148.
- Gasse, F. (coordinateur), Fournier, M., Richard, O. 1988. *Carte géologique au 1/100.000 de la République de Djibouti, Feuille de Dikhil* ; notice, 88 p. ISERST-MRE, ORSTOM, Bondy.
- Gasse, F., Richard, O., Robbe, D., Rognon, P., et Williams, M.A.J. 1980a. Evolution tectonique et climatique de l'Afar central d'après les sédiments plio-pléistocènes. *Bull. Soc. géol. France* **6**, 987-1001.
- Gasse, F., Rognon, P. et Street, F.A. 1980b. Quaternary history of the Afar and Ethiopian rift Lakes. In: M.A.J. Williams et H. Faure (Eds.), "*The Sahara and the Nile*", Balkema, 361-400.
- Gasse, F. et Street, F.A. 1978. Late Quaternary lake-level fluctuations and environnements of the northern Rift Valley and Afar region (Ethiopia and Djibouti). *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **24**, 279-325.
- Gasse, F. et Street-Perrott, F.A. 1986. Interprétation paléoclimatique des données paléolimnologiques en Afrique boréale. In : H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.), "*Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé - Présent - Futur*". Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris, 161-164.
- Gasse, F., Talling, J.F. et Kilham, P. 1983. Diatom assemblages in East Africa: classification, distribution and ecology. *Rev. Hydrobiol. tropicale* **16**, 1, 3-34.
- Gasse, F., Téhét, R., Durand, A., Gibert, E. et Fontes, J.-Ch. 1990. The arid-humid transition in the Sahara and the Sahel during the last deglaciation. *Nature* **346**, 141-146.
- Gavaud, M. 1970. Les grandes divisions du Quaternaire des régions Ouest-Africaines établies sur des bases pédologiques. *Congr. Géol. Afr. Ibadan* et ORSTOM, Yaoundé, 21 p.
- Gavaud, M. 1977. Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. *Trav. doc. ORSTOM* **76**, 102 p.
- Gaven, C., Hillaire-Marcel, C. et Petit-Maire, N. 1981. A pleistocene lacustrine episode in southeastern Lybia. *Nature* **290**, 131-132.
- Genik, G.J. 1991. Petroleum geology of rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic. *The A.A.P.G. Bull.* **75**, 3, 579.
- Genik, G.J. 1992. Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic (C.A.R.). In: *Geologie africaine*. Elf Aquitaine Mém. **13**, 39-53.
- Gentil, P. 1970. *La conquête du Tchad (1894-1916)*. Thèse, Paris et Service Historique Etat-Major Armée de Terre, 1971, 2 t., 300 p. et 8 cartes h.t.
- Germain, L. 1911. Niger-Tchad-Borkou. Notice malacologique. *Documents scientifiques de la Mission Tilho (1906-1909)*, Imprimerie nationale, Paris II, 165-239 et 4 pl.
- Germain, L. 1914. Seconde notice malacologique. *Documents scientifiques de la Mission Tilho (1906-1909)*, Larose (Ed.), Paris III, 285-322.
- Germain, L. 1933. Mollusques terrestres et fluviatiles de l'Afrique Occidentale Française. *Bull. Comité Etudes Historiques et Scientifiques de l'AOF* **2**, 169-236.
- Gèze, R. 1985. Répartition paléoécologique et relations phylogénétiques des Hippopotamidae (Mammalia, Artiodactyla) du Néogène d'Afrique orientale. In: "*L'environnement des Hominidés au Plio-Pléistocène*". Masson, 81-100.
- Giresse, P., Bongo-Passi, G., Delibrias, G. et Duplessy, J.-C. 1982. La lithostratigraphie des sédiments hémipélagiques du delta profond du fleuve Congo et ses indications sur les paléoclimats de la fin du Quaternaire. *Bull. Soc. géol. France* **4**, 803-815.
- Giresse, P., Diouf, M. et Barusseau, J.-P. 1988. Lithological, mineralogical and geochemical observations of Senegalo-Mauritanian Quaternary shoreline deposits: possible chronological revisions. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **68**, 2-4, 241-257.
- Giresse, P., Maley, J. et Kelts, J. 1991. Sedimentation and palaeoenvironment in crater lake Barombi Mbo, Cameroon, during the last 25,000 years. *Sedimentary Geology* **71**, 151-175.
- Gould, S.J. 1983. *La mal-mesure de l'homme. L'intelligence sous la toise des savants*. Ramsay, Paris, 397 p.
- Greigert, J. 1963a. Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemeden. *Publ. Dir. Mines Géol. Rép. Niger* **2**, 234 p. et 1 carte h.t.
- Greigert, J. 1963b. *Inventaire des points d'eau sur les feuilles Guidan-Roumji et Maradi (Niger)*. BRGM, Dakar, 52 p.
- Greigert, J. et Pougnet, R. 1966. *Carte géologique de la République du Niger au 1/2.000.000e*. BRGM.
- Greigert, J. et Pougnet, R. 1967. Essai de description des formations géologiques de la République du Niger. *Mém. BRGM* **48**, 238 p.
- Grove, A.T. 1958. The ancient erg of Hausaland, and similar formations on the south side of the Sahara. *Geographical J.* **124**, 528-533.

- Grove, A.T. 1959. A note on the former extent of lake Chad. *Geographical J.* 125, 465-467.
- Grove, A.T. et Pullan, R.A. 1963. Some aspects of the pleistocene paleogeography of the Chad basin. In: H.C. Howell et F. Bourlière (Eds.): "*African Ecology and Human Evolution*", New-York (1964), 230-245.
- Grove, A.T. et Warren, A. 1968. Quaternary landforms and climate on the south side of the Sahara. *Geographical J.* 134, 194-208.
- Grove, R. 1992. Science coloniale et naissance de l'écologie. *Ecologie politique*, 2, 81-97.
- Grunert, J. (1975). Beiträge zum Problem der Talbildung in ariden Gebieten, am Beispiel des zentralen Tibesti-Gebirges (Rép. du Tchad). *Berliner Geogr. Abh.* 22, 95 p.
- Guichard, E. 1957. *Sédimentation du lac Tchad*. ORSTOM, Fort-Lamy, 46 p. et 1 carte h.t.
- Guichard, G. et Poisot, P. 1964. *Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000. Feuille de Melfi*. ORSTOM, Fort-Lamy. Notice explicative 85 p. et 1 carte.
- Guillot, B., Lahuec, J.P., Citeau, J. et Bellec, B. 1986. Climats de l'Afrique de l'Ouest et du Nord-Est du Brésil. Recherche de téléconnexions. *Veille climatique satellitaire*, ORSTOM-CNRS, Lannion 11, 18-37.
- Guiraud, M. 1990. *Mécanisme de formation du bassin sur décrochements multiples de la Haute-Bénoué (Nigeria): faciès et géométrie des corps sédimentaires, microtectonique et déformations synsédimentaires*. Mém. Habilitation, Montpellier et ELF Nigeria, 444 p.
- Guiraud, R. et Bellion, Y., Benkhelil, J. et Moreau, C. 1987. Post-Hercynian tectonics in Northern and Western Africa. *Geological Journal, Thematic issue* 22, 433-466.
- Guiraud, R., Issawi, B. et Bellion, Y. 1985. Les linéaments guinéo-nubiens : un trait structural majeur à l'échelle de la plaque africaine. *C.R. Acad. Sci.* 300, 17-20.
- Guiraud, R. et Maurin, J-C. 1991. Le rifting en Afrique au Crétacé inférieur : synthèse structurale, mise en évidence de deux étapes dans la genèse des bassins, relations avec les ouvertures océaniques péri-africaines. *Bull. Soc. géol. France* 5, 811-823.
- Guy, M. et Mainguet, M. 1975. Les courants de transport éolien au Sahara et leurs manifestations au sol. *C.R. Acad. Sci. D* 281, 103-106.
- Hagedorn, H. 1971. Untersuchungen über Relieftypen arider Räume an Beispielen aus dem Tibesti-Gebirge und seiner Umgebung. *Zeitschr. f. Geomorph., Suppl.* 11, 251 p.
- Hagedorn, H. 1980. Fluvial processes in the Sahara. *Palaeoecology of Africa*, Balkema 12, 115-123.
- Hagedorn, H., Busche, D., Grunert, J., Schafer, K., Schulz E. et Skowronek, A. 1978. Bericht über geowissenschaftliche Untersuchungen am Westrand des Murzuk-Beckens (zentrale Sahara). *Z. Geomorph. N.F., Suppl.* 30, 20-38.
- Harvey, A.M. 1989. The occurrence and role of arid zone alluvial fans. In: D.S.G. Thomas (Ed.), "*Arid zone geomorphology*". Belhaven Press, Londres, 136-158.
- Harvey, L.D.D. 1989. Modelling the Younger Dryas. *Quaternary Sci. Rev.* 8, 137-149.
- Haynes, C.V. 1987. Holocene migration rates of the Sudano-Sahelian wetting front, Arba' in desert, Eastern Sahara. In: A.E. Close (Ed.), "*Prehistory of Arid North Africa*". Southern Methodist Univ. Press, Dallas, 69-84.
- Haynes, C.V., Eyles, C.H., Paulish, L.A., Ritchie, J.C. et Rybak, M. 1989. Holocene palaeoecology of the eastern Sahara; Selima Oasis. *Quaternary Science Reviews* 8, 109-136.
- Hebrard, L. 1974. Découverte de la flore et de la végétation ensevelies sous les cinérites du volcan quaternaire de Mamelles de Dakar (Sénégal). *Bull. ASEQUA* 42-43, 81-90.
- Hervieu, J. 1970a. Le Quaternaire du Nord-Cameroun. Schéma d'évolution géomorphologique et relations avec la pédogenèse. *Cah. ORSTOM, sér. Pédo.* VIII, 3, 295-320.
- Hervieu, J. 1970b. Influence des changements de climat quaternaire sur le relief et les sols du nord-Cameroun. *Ann. Géogr.* 433, 386-398.
- Hervieu, J. 1977. Témoins paléoclimatiques et environnement préhistorique dans le massif de Termit (Niger Oriental). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* IX, 1-2, 3-14.
- Heusser, C.J. et Rabassa, J. 1987. Cold climatic episode of Younger Dryas age in Tierra del Fuego. *Nature* 328, 609-611.
- Heward, A.P. 1981. A review of wave-dominated clastic shoreline deposits. *Earth-Science Reviews* 17, 223-276.
- Hillaire-Marcel, C. 1983. Paléohydrologie isotopique des lacs de l'erg Ine-Sakane. In: N. Petit-Maire et J. Riser (Eds.), "*Sahara ou Sahel ?*", Labo. Géol. Quaternaire CNRS, Marseille, 87-95.
- Hillaire-Marcel, C., Riser, J., Rognon, P., Petit-Maire, N., Rosso, J-C. et Soulié-Marsche I. 1983. Radio-carbon chronology of Holocene hydrologic changes in northeastern Mali. *Quaternary Research* 20, 145-164.
- Hooghiemstra, H., Bechler, A. et Beug, H.J. 1987. Isopollen maps for 18,000 years B.P. of the Atlantic offshore of Northwest Africa: evidence for paleowind circulation. *Paleoceanography* 2, 6, 561-582.

- Hottin, G. et Ouedraogo, O-F. 1975. *Notice explicative de la carte géologique à 1/1 000 000 de la République de Haute-Volta*. BRGM, 58 p. et 1 carte.
- Hubert, H. 1920. Le dessèchement progressif en Afrique occidentale. *Bull. Comité Etudes Historiques et Scientifiques de l'AOF* 4, 401-467.
- Hubert, P. et Carbonnel, J.P. 1986. Approches statistiques de l'étude des séries pluviométriques de longue durée de l'Afrique de l'Ouest. In: H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.). "*Changements Globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé - Présent - Futur*". Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris, 199 - 202.
- Hugot, H.-J. 1965. Données récentes sur la question atérienne au Sahara méridional. *Quaternaria* VII, 79-89.
- Hugot, H.-J. 1966. Limites méridionales de l'Atérien. In: "*Ve Congr. Panafr. Préhistoire et d'Etudes du Quaternaire*". Santa-Cruz de Tenerife, 1963, II, 95-108.
- Hugot, H.-J. 1967. Le Paléolithique terminal dans l'Afrique de l'Ouest. In: W.W. Bishop et J.D. Clark (Eds.), "*Background to evolution in Africa*". The Univ. of Chicago Press, 529-555.
- Hutchins, D.G., Hutton, L.G., Hutton, S.M., Jones, C.R. et Loenhert, E.P. 1976. A summary of the geology, seismicity, geomorphology and hydrogeology of the Okavango delta. *Geological Survey Departement of Botswana, Bulletin series 7*, 29 p. et 4 pl. h.t.
- Hutchins, D.G., Hutton, S.M. et Jones, C.R. 1976b. The geology of the Okavango Delta. In: "*Proceedings of the symposium on the Okavango Delta and its future utilisation*". Botswana Society, Gaborone, 13-19.
- Icole, M. 1973. Géochimie des altérations dans les nappes d'alluvions des piémonts nord-pyrénéens. Eléments de paléopédologie quaternaire. *Mém. Sci. Géologiques* 40, 200 p.
- Icole, M., Durand, A., Perinet, G. et Laffont, R. 1983. Les silicates de sodium du Manga (Niger), marqueurs de paléoenvironnement ? *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* 42, 273-284.
- Icole, M. et Perinet, G. 1984. Les silicates sodiques et les milieux évaporitiques carbonatés-bicarbonatés sodiques: une revue. *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.* 25, 3, 167-176.
- IGN 1957-1958. Couverture photographique aérienne au 1/50.000, mission AOF ND 32 XXIV. *IGN*, Paris.
- IGN 1958. Carte au 1/200.000 de l'Afrique centrale, Moussoro, République du Tchad, feuille ND-33-XI. *IGN*, Paris.
- IGN 1959a. Carte de l'Afrique centrale au 1/200.000, Mao, Tchad, feuille ND-33-XVI, *IGN*, Paris.
- IGN 1959b. Carte de l'Afrique centrale au 1/200.000, Arak, Tchad, feuille ND-33-XVII. *IGN*, Paris.
- IGN 1959c. Carte de l'Afrique centrale au 1/200.000, Bol, Tchad, feuille ND-33-IX. *IGN*, Paris.
- IGN 1959d. Carte au 1/200.000e, Républiques du Niger et du Tchad, Boso, feuille ND-33-VIII, *IGN*, Paris.
- IGN 1960. Carte de l'Afrique centrale au 1/200.000, NGouri, République du Tchad, feuille ND-33-X. *IGN*, Paris.
- IGN 1961. Carte de l'Afrique au 1/200.000, Nguigmi, Rép. du Niger, Rép. du Tchad, feuille ND-33-XIV. *IGN*, Paris.
- IGN 1962a. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000, Maradi, Rép. du Niger, feuille ND-32-VIII. *IGN*, Paris.
- IGN 1962b. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000, Zinder, Rép. du Niger, feuille ND-32-IX. *IGN*, Paris.
- IGN 1962c. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000, Maïné-Soroa, Rép. du Niger, feuille ND-33-VII. *IGN*, Paris.
- IGN 1962d. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000, Goudoumaria, Rép. du Niger, feuille ND-32-XII. *IGN*, Paris.
- IGN 1964a. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000, Kellé, Rép. du Niger, feuille ND-32-XVI. *IGN*, Paris.
- IGN 1964b. Carte de l'Afrique de l'Ouest à 1/200.000, Fokèye, Rép. du Niger, feuille ND-32-XVIII. *IGN*, Paris.
- IGN 1964c. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000, Lagané, Rép. du Niger, feuille ND-33-XIII. *IGN*, Paris.
- IGN 1964d. Cartes de l'Afrique de l'Ouest au 1/50.000, Maïné Soroa, Rép. du Niger, ND-33-VII, feuilles 1b-2a, 2c, 2d-4b. *IGN*, Paris.
- IGN 1965a. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/50.000, Maïné Soroa, Rép. du Niger, ND-33-VII, feuille 1a.
- IGN 1965b. Fond planimétrique de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000, Kossatori, Rép. du Niger, feuille ND-33-XIX. *IGN*, Paris.
- IGN 1966. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/200.000, Termit-Kaoboul, République du Niger, feuille ND-32-XXIV. *IGN*, Paris.
- IGN 1967. Carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/500.000, NGuigmi, Rép. du Niger, feuille ND-33-NO. *IGN*, Paris.
- IGN 1974. République du Niger, carte au 1/200.000, Termit, feuille NE-32-VI. *IGN*, Paris.
- IGN 1975a. République du Niger, République du Tchad, carte au 1/200.000, N'Gourti, feuille ND-33-XX. *IGN*, Paris.
- IGN 1975b. Carte internationale du monde à 1/1.000.000, Bilma, feuille NE-33. *IGN*, Paris.
- IGN 1975c. République du Tchad, République du Niger, carte au 1/200.000, Dira, feuille ND-33-XXI. *IGN*, Paris.

- IGN 1975d. Couverture photographique aérienne au 1/50.000, mission NIG 40/600. *IGN*, Paris.
- IGN 1975e. Couverture photographique aérienne au 1/50.000, mission ND 33-VII-VIII/500. *IGN*, Paris.
- IGN 1975f. Couverture photographique aérienne au 1/50.000, mission ND 33- XIII-XIV/500. *IGN*, Paris.
- IGN 1979a. République du Niger, République du Tchad, carte au 1/200.000, Nguigmi, feuille ND-33-XIV. *IGN*, Paris.
- IGN 1979b. République du Niger, carte au 1/200.000, Bosso, feuille ND-33-VIII. *IGN*, Paris.
- IGN 1979c. République du Niger, carte au 1/50.000, Bosso, ND-33-VIII, feuilles 3a, 3b, 3c, 3d, 4c. *IGN*, Paris.
- IGN 1979d. République du Niger, carte au 1/50.000, Nguigmi, ND-33-XIV, feuilles 1a, 1c, 1d, 1b-2a, 3a, 3b. *IGN*, Paris.
- IGN 1979e. République du Niger, carte au 1/50.000, Lagané, ND-33-XIII, feuilles 2b, 2d, 4b. *IGN*, Paris.
- IGN 1979f. République du Niger, carte au 1/50.000, Diffa, ND-33-VII, feuilles 2d, 4b, 4d. *IGN*, Paris.
- Iltis, A. 1974. *Le phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). Influence de la teneur en sels dissous sur le peuplement algal*. Thèse, Paris VI, 313 p.
- Iversen, J. 1954. The Late-Glacial flora of Denmark and its relation to climate and soil. *Danmarks Geologiske Undersøgelse II* **80**, 87-119.
- Jacques-Felix, H. 1947. La vie et la mort du lac Tchad. *Bull. agronomique*, Min. France Outre-mer **3**, 96 p.
- Jaeger, J-J. 1975. *Les Rongeurs du Miocène moyen et supérieur du Maghreb*. Thèse, Montpellier vol. 1, 164 p., 37 tabl., et 7 pl. photo. h.t.
- Jaeger, J-J. 1979. Les faunes de Rongeurs du Pliocène et du Pléistocène d'Afrique orientale. *Bull. Soc. géol. France* **3**, 301-308.
- Jäkel, D. 1971. Erosion und Akkumulation im Enneri Bardagué-Arayé des Tibesti-Gebirges (zentrale Sahara) während des Pleistozäns und Holozäns. *Berliner Geogr. Abh.* **10**, 55 p.
- Jäkel, D. 1979. Run-off and fluvial formation processes in the Tibesti Mountains as indicators of climatic history in the central Sahara during the late Pleistocene and Holocene. *Palaeoecology of Africa*, Balkema **11**, 13-44.
- Jäkel, D. et Schulz, E. 1972. Spezielle Untersuchungen an der Mittelterrasse im Enneri Tabi, Tibesti-Gebirge. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.* **15**, 129-143.
- Jalu, R. 1965. Note sur le déclenchement des dépressions tropicales sahariennes. *La Météorologie VI*, **78**, 113-128.
- Jalu, R. et Dettwiller, J. 1965. Advection froide vers les basses latitudes (mars 1963). *La Météorologie VI*, **78**, 159-167.
- Janicot, S. 1985. Analyse spatio-temporelle du champ de précipitations annuelles sur l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique centrale. *Veille climatique satellitaire*, ORSTOM-CNRS, Lannion **10**, 32-44.
- Janicot, S. 1990a. *Variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest et circulations quasi stationnaires durant une phase de transition climatique*. Thèse, Paris VI.
- Janicot, S. 1990b. Deux facteurs principaux impliqués dans la sécheresse au Sahel. *Veille climatique satellitaire*, ORSTOM-CNRS, Lannion **32**, 24-33.
- Janicot, S. et Fontaine, B. 1993. L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. *La Météorologie* **1**, 28-53.
- Jansen, E. et Veum, T. 1990. Evidence for two-step deglaciation and its impact on North Atlantic deep-water circulation. *Nature* **343**, 612-616.
- Jones, Brynmor (1938). Dessication and the West African colonies. *Geographical J.* **91**, 5, 401-423.
- Joseph, A. 1987. *Paléo-recharge des aquifères de la bande sub-désertique des Ténérés et de l'Aïr (Niger): une approche critique de la méthode de datation du carbone 14*, AIEA, Vienne, 24 p.
- Jouliat, F. 1959. Les séries primaires du N et du NW de l'Aïr. Discordances observées. *Bull. Soc. géol. France* **1**, 192-196.
- Kaiser, K. 1972. Prognose und formen der ariden verwitterung am beispiel des Tibesti-Gebirges und seiner rahmenbereiche. *Berliner Geographische Abh.* **16**, 49-80.
- Kallel, N., Labeyrie, L., Arnold, M., Okada, H., Dudley, W. et Duplessy, J-C. 1988. Evidence of cooling during the Younger Dryas in the western North Pacific. *Oceanologica Acta* **11**, 369-375.
- Kanamitsu, M. et Krishnamurti, T.N. 1978. Northern summer tropical circulations during drought and normal rainfall months. *Month. Weather Rev.* **106**, 332-347.
- Kandel, R. et Courel, M.F. 1984. Le Sahel est-il responsable de sa sécheresse ? *La Recherche* **157**, 1152-1154.
- Karche, J-P. 1979. Remarques morphologiques et structurales sur le massif volcanique du Todgha (Sud de l'Aïr). *Ann. Univ. Niamey* **1**, 121-125.
- Karche, J-P et Vachette, M. 1978. Age et migration de l'activité magmatique dans les complexes paléozoïques du Niger. Conséquences. *Bull. Soc. géol. France* **XX**, 941-953.
- Karrow, P.F. 1989. Quaternary continental stratigraphy and neocatastrophism. *Quaternary Science Reviews* **8**, 277-282.

- Kehrer, P., Hollinger, J., Merkt, J. et Tessensohn, F. 1975. *Rapport de fin de mission, feuille de Barghot, NE-32-X, Aïr, 1971-1973*. Mission géologique allemande au Niger, BGR, Hanovre, 3 t. et 1 carte h.t.
- Kelts, K. et Hsü, K.J. 1978. Freshwater carbonate sedimentation. In: A. Lerman, (Ed.), "*Lakes: chemistry, geology, physics*". Springer Verlag, 295-323.
- Kelts, K. et Talbot, M. 1990. Lacustrine carbonates as geochemical archives of environmental change and biotic/abiotic interactions. In: M. Tilzer et C. Serruya (Eds.), "*Large lakes, Ecological Structure and Functions*". Brock Springer, 288-315.
- Kennedy, W.Q.P. 1964. The structural differentiation of Africa in the Pan-African (± 500 m.y.) tectonic episode. *Ann. Pap. Sci. Results*, Univ. Leeds, Inst. Afric. Geol., 48-49.
- Kennet, J-P. 1972. The climatic and glacial record in Cenozoic sediments of the Southern Ocean. *Palaeoecology of Africa*, Balkema 6, 59-78.
- Kerr, R.A. 1992. Unmasking a shifty climate system. *Science* 255, 1508-1510.
- Kidson, J.W. 1977. African rainfall and its relation to the upper air circulation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 103, 441-456.
- Kilian, C. 1931. Des principaux complexes continentaux du Sahara. *C.R. Soc. géol. France*, 109-111.
- Kilian, C. et Petit-Lagrange, J. 1933. Sur le parcours probable de l'oued Tafassasset en aval du puits d'In-Afellallah. *C.R. Acad. Sci.* 197, 1299-1301.
- Kocurek, G. 1981. Significance of interdune deposits and bounding surfaces in aeolian dune sands. *Sedimentology* 28, 753-780.
- Kocurek, G. 1984. Reply: origin of first-order bounding surfaces in aeolian sandstones. *Sedimentology* 31, 125-127.
- Kocurek, G. et Fielder, G. 1982. Adhesion structures. *J. Sedimentary Petrology* 52, 4, 1229-1241.
- Kocurek, G. et Nielson, J. 1986. Conditions favorable for the formation of warm-climate aeolian sand sheets. *Sedimentology* 33, 795-816.
- Kocurek, G., Townsley, M., Yeh, E., Havholm, K. et Sweet, M.L. 1992. Dune and dune-field development on Padre Island, Texas, with implications for interdune deposition and water-table-controlled accumulation. *J. Sedimentary Petrology* 62, 4, 622-635.
- Koeniguer, J-C. 1985. Conditions paléoclimatiques de la fossilisation de végétaux dans le Plio-Pléistocène de l'Afrique nord-équatoriale. In : "*L'environnement des Hominidés au Plio-Pléistocène*". Masson, 223-232.
- Kogbe, C.A. 1981. Cretaceous and Tertiary of the Iullemeden basin in Nigeria (West Africa). *Cretaceous Res.* 2, 129-186.
- Kudrass, H.R., Erlenkeuser, H., Vollbrecht, R. et Weiss, W. 1991. Global nature of the Younger Dryas cooling event inferred from oxygen isotope data from Sulu Sea cores. *Nature* 349, 406-409.
- Kutzbach, J.E. 1980. Estimates of past climate at paleo-lake Chad, North Africa, based on a hydrological and energy-balance model. *Quaternary Research* 14, 210-223.
- Kutzbach, J.E. et Guetter, P.J. 1986. The influence of changing orbital parameters and surface boundary conditions on climate simulations for the past 18,000 years. *J. Atm. Sci.* 43, 16, 1726-1759.
- Kutzbach, J.E. et Street, -Perrott, F.A. 1985. Milankovitch forcing of fluctuations in the level of tropical lakes from 18 to 0 kyr B.P. *Nature* 317, 130-134.
- Lacroix, A. et Tilho J. 1919. Esquisse géologique du Tibesti, du Borkou, de l'Erdi et de l'Ennedi. Les formations sédimentaires. *C.R. Acad. Sci.* 169, 1169-1173.
- Lamb, P.J. 1978. Large-scale tropical atlantic surface circulation patterns associated with subsaharan weather anomalies. *Tellus* 30, 240-251.
- Lambergeon, D., Dzierzara, S. et Janicot, S. 1981. Comportement du champ de vent sur l'Afrique occidentale. *La Météorologie* 25, 69-83.
- Lambert, R. 1936. Terrasses alluviales dans les vallées mortes de la colonie du Niger. *Bull. Soc. géol. France* VI, 79-86.
- Lancaster, N. 1981. Paleoenvironmental implications of fixed dune systems in southern Africa. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* 33, 327-346.
- Lang, J., Kogbe, C., Alidou, S., Alzouma, K., Dubois, D., Houessou, A. et Trichet, J. 1986. Le Sidérolithique du Tertiaire ouest-africain et le concept de Continental terminal. *Bull. Soc. géol. France* II, 4, 605-622.
- Lang, J., Kogbe, C., Alidou, S., Alzouma, K., Bellion, G., Dubois, D., Durand, A., Guiraud, R., Houessou, A., De Klasz, I., Romann, E., Salard-Cheboldaeff, M. et Trichet, J. 1990. The Continental terminal in West Africa. *J. Afr. Earth Sci.* 10, 1-2, 79-99.
- Lang, J., Yahaya, M., El Hamet, M. O., Besombes, J-C. et Cazoulat, M. 1991. Dépôts glaciaires du Carbonifère inférieur à l'Ouest de l'Aïr. *Geol. Rundschau* 80, 611-622.
- Lange, D. 1980. La région du lac Tchad d'après la géographie d'Ibn Sa'id : textes et cartes. *Annales Islamologiques* XVI, 149-181 et 1 carte h.t.
- Le Borgne, J. 1979. Un exemple d'invasion polaire sur la région Mauritanio-Sénégalaise. *Ann. Géogr.* 489, 521-548.
- Le Hénaff, F. 1964. *Etude par sondages électriques dans la région de Termit*. CGG, Paris, 17 p.

- Lemoalle, J. 1979. *Biomasse et production phyto-planctoniques du lac Tchad (1968-1976). Relations avec les conditions du milieu*. Thèse, Paris VI, 311 p.
- Lenfant, Ct. 1904. De l'Atlantique au Tchad par le Niger et la Bénoué. *La Géographie* IX, 321-342, 1 pl.
- Leopold, L.B. et Wolman, M.G. 1957. River Channel patterns: Braided, Meandering and Straight. *Geol. Surv. Prof. Paper* 282-B, 85 p.
- Leprun, J.-C. 1971. Nouvelles observations sur les formations dunaires sableuses fixées du Ferlo nord-occidental (Sénégal). *Bull. ASEQUA* 31-32, 69-78.
- Leprun, J.-C. 1977. La dégradation des cuirasses ferrugineuses. Etude et importance du phénomène pédologique en Afrique de l'Ouest. *Sci. Géologiques* 30, 4, 265-273.
- Le Ribault, L. 1977. *L'exoscopie des quartz*. Masson, Paris, 150 p.
- Leroux M. 1975a. La circulation générale de l'atmosphère et les oscillations climatiques tropicales. *Cahiers Centre Rech. Climat. Tropic.*, Dijon, 3, 1-16.
- Leroux, M. 1975b. Climatologie dynamique de l'Afrique. *Trav.doc.géogr.tropicale*, CEGET-CNRS, Bordeaux 19, 89-112.
- Leroux, M. 1976. La circulation générale de l'atmosphère et les oscillations climatiques tropicales. In: "La désertification au Sud du Sahara". Actes du Colloque de Nouakchott, 1974. *C.R.Clim.Tropic.*, Univ. Dijon 3, 82-88.
- Leroux, M. 1980. *Le climat de l'Afrique tropicale*. Thèse, Dijon, 2 t., 1427 p. et Champion, Paris (1983).
- Leroux, M. 1986. L'anticyclone mobile polaire : facteur premier de la climatologie tempérée. *Bull. Assoc. Géographes. Fr.*, Paris 4, 311-328.
- Leroux, M. 1988. La variabilité des précipitations en Afrique occidentale. Les composantes aérologiques du problème. *Veille climatique satellitaire*, ORSTOM-CMS, Lannion 22, 26-45.
- Lesieur, A. 1982. *Etude de la matière organique de sédiments récents de la rive nord-ouest du lac Tchad*. D.E.A., Univ. Orléans, 75 p.
- Lévêque C. 1967. Mollusques aquatiques de la zone est du lac Tchad. *Bull. IFAN*, Dakar A.29, 4, 1494-1533.
- Lévêque, C. 1972. *Mollusques benthiques du lac Tchad ; écologie, production et bilans énergétiques*. Thèse, Paris VI, 225 p.
- Lévêque, C. 1980. Mollusques. In: J.R. Durand et C. Lévêque (Eds.) "Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne". ORSTOM, Initiation et doc. techn. 44-45, 283-304.
- Levesque, A.J., Mayle, F.E., Walker, I.R. et Cwynar, L.C. 1993. A previously unrecognized late-glacial cold event in eastern North America. *Nature* 361, 623-626.
- Lézine, A.M. 1987. *Paléoenvironnements végétaux d'Afrique nord-tropicale depuis 12,000 B.P.*. Thèse, Aix-Marseille II, 2 vols.
- Lothe, H. 1936. Mouvement géographique. *La Géographie* 65, 1, 60-65.
- Lhote, H. 1962. L'exploration du Ténéré et la recherche du cours de l'oued Tafessasset. In: H. Hugot (Ed.), "Missions Berliet Ténéré-Tchad". Arts et Métiers graphiques, Paris, 197-233.
- Loope, D.B. 1984. Discussion: origin of extensive bedding planes in aeolian sandstones: a defense of Stokes' hypothesis. *Sedimentology* 31, 123-125.
- Loope, D.B. et Simpson, E.L. 1992. Significance of thin sets of eolian cross-strata. *J. Sedimentary Petrology* 62, 5, 849-859.
- Lough, J.M. 1981. West African rainfall variations and tropical Atlantic sea-surface temperatures. *Climate Monitor* 9, 150-157.
- Louis, P. 1970. Contribution géophysique à la connaissance géologique du bassin du lac Tchad. *Mém. ORSTOM* 42, 311 p., 9 cartes et 65 fig. h.t.
- Lowe, J.J. et Gray, J.M. 1980. The stratigraphic subdivision of the Lateglacial of NW Europe: a discussion. In: J.J. Lowe, J.M. Gray et J.E. Robinson (Eds.), "The Lateglacial of North-West Europe". Pergamon Press, Oxford, 157-175.
- Lutze, G., Sarnthein, M., Koopman, B., Pflaumann, U., Erlenkeuser, H. et Thiede, J. 1979. Meteor cores 12309: late Pleistocene reference section for interpretation of the Neogene of site 397. *Initial Reports of the D.S.D.P.*, Washington 47, 1, 727-739.
- MacCarthy, T.S., Stanistreet, I.G. et Cairncross, B. 1991. The sedimentary dynamics of active fluvial channels on the Okavango fan, Botswana. *Sedimentology* 38, 471-487.
- Mac Tainsh, G. 1980. Harmattan dust deposition in northern Nigeria. *Nature* 286, 587-588.
- Mac Tainsh, G. 1982. *Harmattan dust, aeolian mantles and dune sands of Central Northern Nigeria*. Ph. D. Thesis, Macquarie University, 218 p. et 88 p. h.t. (fig., photo et annexes).
- Mac Tainsh, G. 1984. The nature and origine of the aeolian mantles of central northern Nigeria. *Geoderma* 33, 13-37.
- Mac Tainsh, G. 1987. Desert loess in northern Nigeria. *Z. Geomorph.N.F.* 31, 2, 145-165.
- Mac Tainsh, G. et Walker, P-H. 1982. Nature and distribution of Harmattan dust. *Z. Geomorph. N.F.*, Berlin-Stuttgart 26, 4, 417-435.
- Maglione, G. 1976. Géochimie des évaporites et silicates néoformés en milieu continental confiné. Les dépressions interdunaires du Tchad. *Trav. doc. ORSTOM* 50, 395 p.

- Maglione, G. et Servant, M. 1973. Signification des silicates de sodium et des cherts néoformés dans les variations hydrologiques et climatiques holocènes du bassin tchadien. *C. R. Acad. Sci.* **277**, 1721-1724.
- Mainguet, M. 1976. Propositions pour une nouvelle classification des édifices sableux éoliens d'après les images des satellites Landsat I, Gémini, NOAA 3. *Z. Geomorph. N. F.*, Berlin-Stuttgart **20**, 3, 275-296.
- Mainguet, M. 1977. Analyse quantitative de l'extrémité sahélienne du courant éolien transporteur de sable au Sahara algérien. *C. R. Acad. Sci.* **285**, 1029-1032.
- Mainguet, M. 1982a. L'épaisseur des dépôts sableux éoliens est-elle un indicateur d'aridité ? *Bull. Assoc. Géographes Fr.* **484**, 64-68.
- Mainguet, M. 1982b. Les dunes d'érosion: signification morphodynamique et climatique de leur existence. *Würzburg Geogr. Arb.* **56**, 79-92.
- Mainguet, M. 1983. Dunes vives, dunes fixées, dunes vêtues : une classification selon le bilan d'alimentation, le régime éolien et la dynamique des édifices sableux. *Z. Geomorph. N. F., Suppl.* **45**, 265-285.
- Mainguet, M. et Canon, L. 1976. Vents et paléovents du Sahara. Tentative d'approche paléoclimatique. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* **XVIII**, 2-3, 241-250.
- Mainguet, M., Canon, L. et Chemin, M-C. 1980a. Le Sahara: géomorphologie et paléogéomorphologie éoliennes. In: M.A.J. Williams et H. Faure (Eds.), *"The Sahara and the Nile"*. Balkema, 17-35.
- Mainguet, M., Chamard, P., Cossus, L. et Courel, M-F. 1980b. Le vent, facteur de désertification des régions saharo-sahéliennes et sahéliennes. In: J.A. Mabutt et S.M. Berkowicz (Eds.), *"The threatened dry lands"*. 24e Congr. Int. Géogr., Fujinomiya, 111-131.
- Mainguet, M. et Chemin, M-C. 1977. *Compte rendu de la seconde mission de reconnaissance morphodynamique de l'unité expérimentale de Serkin Haoussa*. GERDAT et Univ. Reims, 300 p.
- Mainguet, M. et Chemin, M-C. 1983. Sand seas of the Sahara and Sahel: an explanation of their thickness and sand dune type by the sand budget principle. In: M.E. Brookfield and T.S. Ahlbrandt (Eds.), *"Eolian sediments and processes"*. *Developments in sedimentology* **38**, 353-363.
- Mainguet, M. et Chemin, M-C. 1987. Nappes vives et nappes vêtues du Niger. Quantification de leur vulnérabilité vis-à-vis des actions éoliennes. In: A. Godard et A. Rapp (Eds.), *"Processus et Mesure de l'érosion"*. 25e Congr. Internat. Géogr., Paris, 1984. CNRS, Paris, 101-112.
- Mainguet, M. et Chemin, M-C. 1990. Le massif du Tibesti dans le système éolien du Sahara. Réflexion sur la genèse du lac Tchad. *Berliner Geographische Studien* **30**, 261-276.
- Mainguet, M. et Guy, M. 1974. Apport des images par satellites météorologiques (NOAA3) dans l'observation des grands courants de matériels éoliens et dans les relations de dépendance des ergs au Sahara. *Photo Interprétation*, TECHNIP, Paris **4**, 1-6, 43-51.
- Mainguet, M., Vimeux-Richeux, M. et Chemin, M-C. 1983. Autochtonie et allochtonie des sables de la zone saharo-sahélienne du Niger. *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.* **24**, 2, 167-175.
- Maizels, J.K. 1987. Plio-Pleistocene raised channel systems of the western Sharqiya (Wahiba), Oman. In: L. Frostick et I. Reid (Eds.), *"Desert Sediments: Ancient and Modern"*. *Geol. Soc. Sp. Publ.* **35**, 31-50.
- Maizels, J.K. 1990. Raised channel systems as indicators of palaeohydrologic change: a case study from Oman. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **76**, 241-277.
- Maley, J. 1973a. Un nouveau mécanisme des changements climatiques aux basses latitudes. *Bull. ASEQUA* **37-38**, 31-40.
- Maley, J. 1973b. Les variations climatiques dans le bassin du Tchad durant le dernier millénaire : essai d'interprétation climatique de l'Holocène africain. *C. R. Acad. Sci.* **276**, 1673-1675.
- Maley, J. 1973c. Mécanismes des changements climatiques aux basses latitudes. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **14**, 193-227.
- Maley, J. 1976. Essai sur le rôle de la zone tropicale dans les changements climatiques ; l'exemple africain. *C. R. Acad. Sci.* **283**, 337-340.
- Maley, J. 1977a. Analyses polliniques et paléoclimatologie des douze derniers millénaires du bassin du Tchad (Afrique Centrale). INQUA 1977. *Supplément Bull. AFEQ* **1**, **50**, 187-197.
- Maley, J. 1977b. Palaeoclimates of Central Sahara during the early Holocene. *Nature* **269**, 573-577.
- Maley, J. 1980. Les changements climatiques de la fin du Tertiaire en Afrique: Leur conséquence sur l'apparition du Sahara et de sa végétation. In: M.A.J. Williams et H. Faure (Eds.), *"The Sahara and the Nile"*. Balkema, 63-86.
- Maley, J. 1981. Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord-tropicale de 30000 ans à l'époque actuelle. *Trav. doc. ORSTOM* **129**, 586 p.
- Maley, J. 1982. Dust, clouds, rain types and climatic variations in Tropical North Africa. *Quaternary Research* **18**, 1-16.
- Maley, J. 1989. Late quaternary climatic changes in the african rain forest: forest refugia and the role of sea surface temperature variations. In: M. Leiner et M. Sarnthein (Eds.) *"Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past patterns of global atmospheric transport"*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 585-616.

- Maley, J., Giresse, P., Brenac, P., Thouveny, N., Kelts, K., Livingstone, D.A., Kling, G., Stager, C., Haag, M., Fournier, M., Bandet, Y., Williamson, D. et Zogning, A. 1990. Paléoenvironnements de l'Ouest-Cameroun au Quaternaire récent: résultats préliminaires. In: R. Lanfranchi et D. Schwartz (Eds.), "Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique". ORSTOM, Paris, 228-247.
- Maley, J., Roset, J.-P. et Servant, M. 1971. Nouveaux gisements préhistoriques au Niger oriental; localisation stratigraphique. *Bull. ASEQUA* 31-32, 9-18.
- Mangerud, J., Andersen, S.T., Berglund, B.E. et Donner, J.J. 1974. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas* 3, 109-127.
- Mangin, C. 1907. Explorations du Borkou. *La Géographie* XV, 5, 372-376.
- Margat, J. 1985. Hydrologie et ressources en eau des zones arides. *Bull. Soc. géol. France* 7, 1009-1020.
- Marliac, A. 1973. Prospection archéologique au Cameroun, 2: L'industrie de la basse terrasse du Mayo Louti. *Cah. ORSTOM sér. Sci. Humaines* X, 1, 47-114.
- Martin, J. et Thiery, D. 1987. Analyse d'une longue série piézométrique au Burkina-Faso. Etude de la variabilité climatique. *Hydrogéologie* 2, 137-145.
- Mathy, B., Lang, J., Pierre, C. et Alzouma, K. 1991. Effets combinés de l'eustatisme et des variations climatiques: l'exemple des premières transgressions du Crétacé supérieur dans le centre de l'Afrique occidentale (Bassin des Iullemmeden, Niger). *C. R. Acad. Sci.* 312, II, 523-528.
- Mathieu, P. 1978. Découverte d'"oolithes ferrugineuses" en stratigraphie sous le delta actuel du Chari (Tchad). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* X, 2, 203-208.
- Mathieu, P. 1984. Le post-paléozoïque du Tchad. In: J. Fabre (Ed.), "Lexique stratigraphique international (Afrique de l'Ouest)". Pergamon Press, 143-146.
- Mazor, E. 1982. Rain recharge in the Kalahari. A note on some approaches to the problem. *J. Hydrology* 55, 137-144.
- Mazzei, R., Raffi, I., Rio, D., Hamilton, N. et Cita, M.-B. 1979. Calibration of late Neogene calcareous plankton datum planes with the paleomagnetic record of site 397 and correlation with maroccan and mediterranean sections. *Initial Reports of the D.S.D.P.*, Washington 47, 375-389.
- Merle, J. 1980. Variabilité thermique annuelle et inter-annuelle de l'océan Atlantique équatorial Est. L'hypothèse d'un "El Nino" Atlantique. *Oceanologica acta* 3, 2, 209-220.
- Merle, J. 1982. Les interactions océan-atmosphère à grande échelle et le climat. *Le courrier du CNRS* 46, 23-27.
- Miall, A.D. 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Science Reviews* 13, 1-62.
- Michel, P. 1970. Chronologie du Quaternaire des bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Essai de synthèse. *Bull. ASEQUA* 25, 53-64 et 26, 25-37.
- Michel, P. 1973. Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. *Mém. ORSTOM* 63, 3 t., 752 p.
- Michel, P. 1977. Recherches sur le Quaternaire en Afrique occidentale. In: "Recherches françaises sur le Quaternaire". INQUA, 1977 et *Suppl. Bull. AFEQ* I, 50, 143-153.
- Michel, P. 1978. Cuirasses bauxitiques et ferrugineuses d'Afrique occidentale. Aperçu chronologique. *Trav. doc. géogr. tropicale, CEGET* 33, 11-32.
- Migeod, F. 1924. Geological notes on lake Chad. In: "Through Nigeria to Lake Chad". Heath Cranton, London, 189-204.
- Mignon, R. 1970. Notice explicative sur la carte géologique du Damagaram Mounio et du Sud Maradi. BRGM, 56 p.
- Miller, R.E., Johnston, R.H., Olowu, J.A.I. et Uzoma, J.U. 1968. Groundwater hydrology of the Chad basin in Bornu and Dikwa Emirates, Northeastern Nigeria, with special emphasis on the flow life of the artesian system. *Geological Survey Water-Supply Paper* 1757-1, 59 p. et 9 cartes h.t.
- Millot, G. 1980. Les grands aplanissements des socles continentaux dans les pays subtropicaux, tropicaux et désertiques. *Mém. h.sér. Soc. géol. France* 10, 295-305.
- Monteil, P.-L. 1895. *De Saint-Louis à Tripoli par le lac Tchad*. Alcan, Paris, 463 p. et 1 carte h.t.
- Monteillet, J. 1988. *Environnements sédimentaires et paléocéologie du delta du Sénégal au Quaternaire*. Thèse, Perpignan, 306 p.
- Morales, C., (Ed.) 1979. "Saharan dust. Mobilization, transport, deposition". John Wiley and Sons, New York, 277 p.
- Moreau, C. 1982. *Les complexes annulaires anorogéniques à suites anorthositiques de l'Aïr central et septentrional (Niger)*. Thèse, Nancy, 356p
- Morel, A. 1981. Formes, formations superficielles et variations climatiques récentes dans les massifs centraux de l'Aïr (Sud Sahara). *Palaeoecology of Africa*, Balkema 13, 189-198.
- Morel, A. 1983. Erosion et sédimentation dans le massif de l'Aïr (Sahara méridional): essai d'interprétation paléoclimatique de la moyenne terrasse. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* XIII, 2, 111-118.
- Morel, A. 1985. *Les hauts massifs de l'Aïr (Niger) et leurs piémonts. Etude géomorphologique*. Thèse, Grenoble, 404 p. dont 12 pl. photo., et 1 carte h.t.

- Morel, A., Tillet, T., Poupeau, G. et Raimbault, M. 1991. Bassin de Taoudenni. In: T. Tillet (Ed.), "Paléomilieux et peuplements préhistoriques sahariens au Pléistocène supérieur". Univ. Limoges et PICG-UNESCO 252, chap. 2-B, 19 p.
- Mugnier, S. 1993. *Cartographie des linéaments au Tchad. Relations avec le rifting en Afrique Centrale*. Mém. maîtrise Sc. Terre, Univ. Bourgogne, 32 p.
- Muller, A. 1977. *Essai d'application des variations de teneur en radiocarbone dissous à l'étude des aquifères libres: le cas de la nappe phréatique au Nord et à l'Est du lac Tchad*. Thèse, Paris VI, 160 p.
- Müller, H.J. 1972. Pollenanalytische untersuchungen zum Eisrückzug und zur vegetationsgeschichte im Vorderrhein-und Lukmaniergebiet. *Flora*, Fischer Verlag 161, 333-382.
- Nachtigal, G. 1881-1883. *Sahara et Soudan*. (traduction partielle par J. Gourdault). Hachette, Paris.
- Nagy, R.M., Ghuma, M.A. et Rogers, J.J.W. 1976. A crustal suture and lineament in North Africa. *Tectonophysics* 31, T67-T72.
- Nahon, D. 1974. Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. Thèse, Marseille III et *Mém. Sci. Géologiques*, 1976, 44, 222 p.
- Neev, D. 1977. The Pelusium Line: a major transcontinental shear. *Tectonophysics* 38, T1-T8.
- Neev, D., Hall, J.K. et Saul, J.M. 1982. The Pelusium Megashear System across Africa and associated lineament swarms. *J. of Geophysical Research* 87, B2, 1015-1030.
- Newell, R.E. et Hsiung, J. 1987. Factors controlling free air and ocean temperature of the last 30 years and extrapolation to the past. In: W.H. Berger et L.D. Labeyrie (Eds.), "Abrupt climatic change, evidence and implications". Reidel, Dordrecht, 67-87.
- Newell, R.E. et Kidson, J.W. 1984. African mean wind changes between sahelian wet and dry periods. *J. of Climatology* 4, 27-33.
- Nguer, M. 1988. *Caractères sédimentologiques des couvertures sableuses d'âge Quaternaire récent dans l'Ouest du Sénégal*. Thèse, Paris VI, 184 p.
- Nicholson, S.E. 1980a. The nature of rainfall fluctuation in subtropical West Africa. *Month. Weather Rev.* 108, 473-487.
- Nicholson, S.E. 1980b. Saharian climate in historic times. In: M.A.J. Williams et H. Faures (Eds.) "The Sahara and the Nile". Balkema, 173-200.
- Nicholson, S.E. 1981. Rainfall and atmospheric circulation during drought and wetter periods in West Africa. *Month. Weather Rev.* 109, 2191-2208.
- Nicholson, S.E. 1982. *Le Sahel : présentation du climat*. CILSS et OCDE, 90 p.
- Nicholson, S.E. et Flohn, H. 1980. African environmental and climatic changes and the general atmospheric circulation in late Pleistocene and Holocene. *Climatic change* 2, 313-348.
- Oeschger, H., Beer, J., Siegenthaler, U., Stauffer, B., Dansgaard, W. et Langway, C.C. 1984. Late glacial climate history from ice cores. In: J.E. Hansen et T. Takahashi, "Climate Processes and Climate Sensitivity". *Geophys. Monogr. S.* 29, 299-306.
- Omotosho, J.G. 1985. The separate contributions of line squalls, thunderstorms and the monsoon to the total rainfall in Nigeria. *J. of Climate* 5, 543-552.
- ORSTOM 1952. *Rapport de synthèse des travaux exécutés sous la direction de la Commission Scientifique du Logone et du Tchad de novembre 1947 à février 1952*, Paris, 58 p. et 4 cartes.
- ORSTOM 1970. *Monographie hydrologique du bassin du Niger*. Comité Inter. Afr. Etudes Hydrau. et FAC., Paris, 3 vol., 367 p. et annexes.
- Otterman, J. 1977. Anthropogenic impact on the albedo of the earth. *Climatic change* 1, 137-155.
- Ousseini, I. et Morel, A. 1989. Utilisation de formations alluviales azoïques pour l'étude des paléoenvironnements du Pléistocène supérieur et de l'Holocène au sud du Sahara. *Bull. Soc. géol. France* 1, 85-90.
- Pachur, H.-J. 1970. Zur Hangformung im Tibestigebirge (Rép. du Tchad). *Die Erde* 101, 41-54.
- Pachur, H.-J. et Hoelzmann, P. 1991. Paleoclimatic implications of Late Quaternary lacustrine sediments in Western Nubia, Sudan. *Quaternary Research* 36, 257-276.
- Pachur, H.-J. et Kropelin, S. 1989. L'aridification du Sahara oriental à l'Holocène moyen et supérieur. *Bull. Soc. Géol. France* 1, 99-107.
- Pachur, H.-J., Kropelin, S., Hoelzmann, P., Goschin, M. et Altmann, N. 1990. Late Quaternary fluvio-lacustrine environments of Western Nubia. *Berliner geowiss. Abh. A* 120, 203-260.
- Paquet, H., Coudé-Gaussen, G. et Rognon, P. 1984. Etude minéralogique de poussières sahariennes le long d'un itinéraire entre 19 et 35° de latitude nord. *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.* 25, 4, 257-265.
- Pascal, A., Mahdoudi, M.-L., Lang, J., Paquet, H. et Millot, G. 1989. Palygorskites continentales épigéniques dans le Jurassique moyen du Haut-Atlas central (Maroc). Double signification des palygorskites dans les séries géologiques. *C. R. Acad. Sci.* 309, 899-906.
- Passaga, R. et Byramjee, R. 1969. Grain-size image of clastic deposits. *Sedimentology* 13, 233-252.
- Pastouret, L., Chamley, H., Delibrias, G., Duplessis, J.-C. et Thiede, J. 1978. Late Quaternary climatic change in Western Tropical Africa deduced from deep-sea sedimentation off the Niger delta. *Oceanologica Acta* 1, 2, 217-232.

- Paulissen, E. et Vermeersch, P.M. 1989. Le comportement des grands fleuves allogènes: l'exemple du Nil saharien au Quaternaire supérieur. *Bull. Soc. géol. France*, 73-83.
- Pautot, G. et Fontes, J-Ch. 1979. Gypsum-calcite rosettes in sediments from the Congo deep-sea fan. *Oceanologica acta* 2, 1.
- Pédélaborde, P. 1970. *Les moussons*. A. Colin, Paris, 224 p.
- Pédélaborde, P. 1976. Bilan d'énergie, bilan hydrique et circulation atmosphérique du Sahara. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* XVIII, 2-3, 229-239.
- Pellegrin, J. 1919. Sur la faune ichthyologique du Sahara oriental. *C. R. Acad. Sci.* 169, 961-963.
- Pellegrin, J. 1920. Sur les ossements subfossiles de Poissons des Pays-Bas du Tchad et leur signification. *C. R. Acad. Sci.* 170, 206-208.
- Perrott, R.A. et Street-Perrott, F.A. 1982. New evidence for a late Pleistocene wet phase in northern inter-tropical Africa. *Palaeoecology of Africa*, Balkema 14, 57-75.
- Petit-Maire, N. (Ed.) 1982. *Le Shati, lac pléistocène du Fezzan (Lybie)*. CNRS, Marseille, 118 p.
- Petit-Maire, N. 1983. Nouvelles données sur les paléoenvironnements holocènes de l'Afrique de l'Ouest. In: N. Petit-Maire et J. Riser (Eds.), "*Sahara ou Sahel? Quaternaire récent du bassin de Taoudenni (Mali)*". CNRS, Marseille, 413-416.
- Petit-Maire, N. 1989. Interglacial environments in presently hyperarid Sahara: palaeoclimatic implications. In: M. Leinen et M. Sarnthein (Eds.), "*Paleoclimatology and Paleometeorology: modern and past patterns of global atmospheric transport*". Kluwer Academic Publishers, 637-661.
- Petit-Maire N. 1992. Environnements et climats de la ceinture tropicale nord-africaine depuis 140,000 ans. *Mém. Soc. géol. France* 160, 27-34.
- Petit-Maire, N., Blanc-Vernet, L., Carbonnel, P., Casta, L., Delibrias, G., Gaillard, J., Gaven, C., Ghillali, S., Icole, M., Hillaire-Marcel, C., Peypouquet, J-P. et Riser, J. 1980. Dépôts lacustres quaternaires du Chati, Lybie occidentale. *26e Congr. Géol. Int.*, Paris II, 681.
- Petit-Maire, N., Delibrias, G. et Gaven, C. 1980. Pleistocene lakes in the Shati area, Fezzan (27°30'N). *Paleoecology of Africa*, Balkema 12, 289-295.
- Petit-Maire, N. et Gayet, M. 1984. Hydrographie du Niger (Mali) à l'Holocène ancien. *C. R. Acad. Sci.* 298, 21-23.
- Pewe, T.L. (Ed.) 1981. "*Desert dust: origin, characteristics and effects on Man*". The Geological Soc. America, Special paper 186, 303 p.
- Pias, J. 1958. Transgressions et régressions du lac Tchad à la fin de l'ère Tertiaire et au Quaternaire. *C. R. Acad. Sci.* 246, 800-803.
- Pias, J. 1960. Sédimentation au Quaternaire dans l'Est de la cuvette tchadienne (massifs du Ouaddai et de l'Ennedi. Plaines de piedmonts). *C. R. Acad. Sci.* 250, 1514-1516.
- Pias, J. 1962. Les sols du Moyen et Bas Logone, du Bas Chari, des régions riveraines du lac Tchad et du Bahr El Ghazal. *Mém. ORSTOM*, 2, 438 p. et 15 cartes.
- Pias, J. 1967a. Quatre deltas successifs du Chari au Quaternaire (Républiques du Tchad et du Cameroun). *C. R. Acad. Sci.* 264, 2357-2360.
- Pias, J. 1967b. Chronologie du dépôt des sédiments tertiaires et quaternaires dans la cuvette tchadienne (République du Tchad). *C. R. Acad. Sci.* 264, 2432-2435.
- Pias, J. 1968. Contribution à l'étude des formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et des sols qui en dérivent. *Cah. ORSTOM, sér. Pédologie* VI, 3-4, 367-377.
- Pias, J. 1970. Les formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent. *Mém. ORSTOM* 43, 408 p., 8 pl. photo., et 2 cartes h.t.
- Pias, J. et Barbery, 1964. *Cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000. Feuilles de Fort-Lamy, Massenya, Mogroum*. ORSTOM, Fort-Lamy. Notice explicative 101 p. et 3 cartes.
- Pias, J. et Guichard, E. 1957a. Origine et conséquences de l'existence d'un cordon sableux dans la partie Sud-Ouest de la cuvette tchadienne. *C.R. Acad. Sci.* 244, 791-793.
- Pias, J. et Guichard, E. 1957b. *Carte pédologique du bassin alluvionnaire du Logone et Chari. Nord Cameroun, feuille de Mora, 1/200.000*. ORSTOM et Commission scientifique du logone-Tchad, Paris.
- Pickford, M., Senut, B., Ssemmanda, I., Elepu, D., Obwona, P. 1988. Premiers résultats de la mission de l'Uganda Palaeontology Expedition à Nkondo (Pliocène du Bassin du lac Albert, Ouganda). *C. R. Acad. Sci.* 306, II, 315-320.
- Pirard, F. 1962. *Hydrogéologie du Niger oriental*. BRGM, Dakar, 64 p. et 6 cartes.
- Pirard, F. 1964a. Géomorphologie du Manga nigérien. *Bull. IFAN*, Dakar A.28, 1, 421-425.
- Pirard, F. 1964b. *Reconnaissance hydrogéologique du Niger oriental. Rapport de fin de travaux 1960-1963. Essai d'esquisses hydrogéologiques*. BRGM, Dakar, 109 p.
- Pirard, F. 1964c. *Carte de reconnaissance hydrogéologique du Niger sud-oriental au 1/1.000.000e*. BRGM.
- Pirard, F. 1965. *Carte de reconnaissance géologique du Manga au 1/500.000e*. BRGM, Paris.

- Pirard, F. 1967. *Note explicative sur la carte géologique de reconnaissance du Manga (Niger sud-oriental)*. BRGM, Paris, 34 p.
- Pokras, E.M. 1987. Diatom record of late Quaternary climatic change in the eastern equatorial Atlantic and tropical Africa. *Paleoceanography* 2, 273-286.
- Pokras, E.M. et Mix, A.C. 1985. Eolian evidence for spatial variability of late Quaternary climates in tropical Africa. *Quaternary Research* 24, 137-149.
- Pokras, E.M. et Mix, A.C. 1987. Earth's precession cycle and Quaternary climatic change in tropical Africa. *Nature* 326, 486-487.
- Pomerol, C., Babin, C., Lancelot, Y., Le Pichon, X. et Rat, P. 1980. *Stratigraphie, paléogéographie, principes et méthodes*. Doin, Paris, 209 p.
- Poucllet, A. et Durand, A. 1983. Structures cassantes cénozoïques d'après les phénomènes volcaniques et néotectoniques au nord-ouest du lac Tchad (Niger oriental). *Ann. Soc. géol. Nord*, Lille CIII, 143-154.
- Priem, F. 1914. Sur des poissons fossiles et en particulier des Siluridés du Tertiaire supérieur et des couches récentes d'Afrique. *Mém. Soc. géol. France, Paléontologie* 49, 13 p. et 5 pl.
- Prospero, J.M. et Carlson, N.T.N. 1972. Vertical and areal distribution of saharan dust over the Western Equatorial North Atlantic Ocean. *J. Geophysical Research* 77, 27, 5255-5265.
- Prospero, J.-M. et Nees, R.T. 1977. Dust concentration in the atmosphere of the equatorial North Atlantic: possible relationship to the Sahelian drought. *Science* 196, 1196-1198.
- Pullan, R.A. 1964. The recent geomorphological evolution of the South Central part of the Chad basin. *Journal of West Afr. Sci. assoc.* 9, 115-139.
- Pye, K. 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, Londres, 334 p.
- Pye, K. et Tsoar, H. 1990. *Eolian sands and sand dunes*. Unwin Hyman, Sydney, 396 p.
- Quezel, P. et Martinez, C. 1962. Premiers résultats de l'analyse palynologique de sédiments recueillis au Sahara méridional à l'occasion de la mission Berliet-Tchad. In: H. Hugot (Ed.), "*Missions Berliet et Ténéré-Tchad*". Arts et Métiers graphiques, Paris, 313-327.
- Quilfen, Y. 1987. *Variations interannuelles de l'atmosphère atlantique tropicale et interactions avec l'océan*. Thèse 3e cycle, Paris VI, 150 p.
- Radier, H. 1959. Contribution à l'étude géologique du Soudan oriental (AOF). Thèse, Strasbourg et *Bull. Dir. Mines AOF* 26, 2 vol., 556 p.
- Raeburn, C. et Jones, B. 1934. The Chad Basin, Geology and Water Supply. *Geol. Survey of Nigeria* 15, 61p.
- Reed, R.J. 1986. On understanding the meteorological causes of Sahelian drought. *Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia* 69, 179-213.
- Reed, R.J., Norquist, D.C. et Recker, E.E. 1977. The structure and properties of African wave disturbances as observed during phase III of GATE. *Month. Weather Rev.* 105, 317-333.
- Reibell, Gl. 1931. *L'épopée saharienne : Carnet de route de la mission saharienne Foureau-Lamy, 1898-1900*. Plon, Paris, 422 p. et 1 carte.
- Reille, M. 1990. La tourbière de La Borde (Pyrénées orientales, France) : un site clé pour l'étude du Tardiglaciaire sud-européen. *C.R. Acad. Sci.* 823-829.
- Reyment, R.A. 1984. Le post-paléozoïque du Niger. In: J. Fabre (Ed.), "*Lexique stratigraphique international (Afrique de l'Ouest)*", Pergamon Press, Paris, 137-139.
- Rind, D. et Peteet, D.M. 1985. Terrestrial conditions at the Last Glacial Maximum and CLIMAP sea-surface temperature estimates: are they consistent? *Quaternary Research* 24, 1-22.
- Rind, D., Peteet, D., Broecker, W., Mc Intyre, E A. et Ruddiman, W. 1986. The impact of cold North Atlantic sea surface temperatures on climate: implications for the Younger Dryas cooling (11-10 k). *Climate Dynamics* 1, 3-33.
- Riou, C. 1975. La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale. *Mém. ORSTOM* 80, 236 p.
- Riou, G. 1990. *L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux*. Masson, Paris, 222 p.
- Rioux, J.-P. 1990. Les héros de Tombouctou. *Le Monde* 14157, 2.
- Riser, J., Hillaire,-Marcel, C. et Rognon P. 1983. Les phases lacustres holocènes. In: N. Petit-Maire et J. Riser (Eds.). "*Sahara ou Sahel? Quaternaire récent du bassin de Taoudenni (Mali)*". CNRS, Marseille, 65-86.
- Ritchie, J.C., Eyles, C.H. et Haynes, C.V. 1985. Sediment and pollen evidence for an early to mid-Holocene humid period in the eastern Sahara. *Nature* 314, 352-355.
- Rivière, A. 1977. *Méthodes granulométriques, techniques et interprétations*. Masson, 170 p.
- Robin, G. de Q. 1988. The Antarctic ice sheet, its history and response to sea level and climatic changes over the past 100 million years. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* 67, 31-50.
- Rocci, G. 1965. Essai d'interprétation de mesures géochronologiques : la structure de l'Ouest africain. *Sci. de la Terre* 10, 3-4, 461-479.
- Roch, E. 1953. Itinéraires géologiques dans le Nord du Cameroun et le Sud-Ouest du territoire du Tchad. *Bull. du Service des Mines du Cameroun.* 1, 5-110 et 12 pl.

- Roche, M.A. 1968. *L'eau dans la Haute-Saoura, Sahara nord-occidental*. Thèse 3e cycle, Paris, 295 p.
- Roche, M.A. 1970. Evaluation des pertes du lac Tchad par abandon superficiel et infiltrations marginales. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* II, 1, 67-80.
- Roche, M.A. 1973. *Traçage naturel salin et isotopique des eaux du système hydrologique du lac Tchad*. Thèse, Paris et *Trav.doc. ORSTOM* 117, 389 p. (1980).
- Rodier, J. 1962. Résultats des études entreprises sur les phénomènes d'écoulement dans la dépression du Bahr El Ghazal. In: "Réunion sur l'aménagement régional du bassin du Tchad et Réunion des hydrologues des pays riverains du Tchad". CCTA-CSA, Fort-Lamy, 9 p. et 2 pl. h.t.
- Rodier, J.A. 1975. Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain. *Trav.doc. ORSTOM* 46, 121 p.
- Rognon, P. 1967. Le massif de l'Atakor et ses bordures (Sahara central). Etude géomorphologique. *CNRS-CRZA* 9, 560 p., 32 pl. photo. et 11 cartes h.t.
- Rognon, P. 1976a. Les oscillations du climat saharien depuis 40 millénaires. Introduction à un vieux débat. *Rev. Géogr. phys. Géol. Dynam.* XVIII, 2-3, 147-156.
- Rognon, P. 1976b. Essai d'interprétation des variations climatiques au Sahara depuis 40000 ans. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* XVIII, 2-3, 251-282.
- Rognon, P. 1980a. Une extension des déserts (Sahara et Moyen-Orient) au cours du Tardiglaciaire (18000-10000 ans B.P.). *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.* 22, 4-5, 313-328.
- Rognon, P. 1980b. Pluvial and arid phases in the Sahara: the role of non climatic factors. *Palaeocology of Africa*, Balkema 12, 45-62.
- Rognon, P. 1980c. The Saharan and East African uplands during the Quaternary: fluvial piedmont deposits. In: M.A.J. Williams et H. Faure (Eds.), "The Sahara and the Nile". Balkema, Rotterdam, 118-132
- Rognon, P. 1981. Les crises climatiques. *La Recherche* 128, 1354-1364.
- Rognon, P. 1983a. Les crises climatiques de courte durée (quelques années à quelques siècles) et leur enregistrement dans la sédimentation continentale. In: A. Ghazi (Ed.), "Palaeoclimatic Research and Models". Reidel, Dordrecht, 114-123.
- Rognon, P. 1983b. Essai de définition de deux types d'accidents climatiques. *Bull. Assoc. Géogr. Fr.* 494, 115-118.
- Rognon, P. 1983c. Quelques crises climatiques des douze derniers millénaires. *Bull. Assoc. Géogr. Fr.* 494, 145-155.
- Rognon, P. 1983d. Essai de définition et typologie des crises climatiques. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux 34, 151-164.
- Rognon, P. 1984a. Corrélations stratigraphiques et crises climatiques. *Bull. Soc. géol. France* 6, 1187-1192.
- Rognon, P. 1984b. Signification dynamique et climatique des formations et terrasses fluviales en Afrique du Nord et au Proche Orient. *Bull. AFEQ* 1-3, 161-169.
- Rognon, P. 1987a. Late Quaternary climatic reconstruction for the Maghreb (North Africa). *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* 58, 11-34.
- Rognon, P. 1987b. Les phases d'aridité du Pléistocène supérieur et de l'Holocène au Sahara: arguments sédimentologiques. *Palaeoecology of Africa*, Balkema 18, 111-113.
- Rognon, P. 1987c. Aridification and abrupt climatic events on the saharan northern and southern margins, 20,000 yr B.P. to Present. In: W.H. Berger et L.D. Labeyrie (Eds.), "Abrupt climatic change". Reidel, Dordrecht, 209-220.
- Rognon, P. 1989. Variations de l'aridité au Sahara depuis 125,000 B.P. en relation avec les "contraintes" orbitales et glaciaires. *Bull. Soc. géol. France* 1, 13-20.
- Rognon, P. et Coudé-Gaussen, G. 1987. Dépôts quaternaires des déserts chauds et de la zone inter-tropicale. In: J-C. Miskowsky (Ed.), "Géologie de la Préhistoire". GéoPré, Paris, 125-148.
- Rognon, P., Gourinard, Y. et Bandet, Y. 1981. Un épisode de climat aride dans l'Atakor (Hoggar) vers 1,5 Ma (datations K/Ar) et sa place dans le contexte paléoclimatique du Plio-Pléistocène africain. *Bull. Soc. géol. France* 4, 313-318.
- Roset, J-P. 1974. Un gisement néolithique ancien près de Fachi (erg du Ténéré). *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Humaines* XI, 1, 105-110.
- Roset, J-P. 1978. Poteries néolithiques du Ténéré. La région de l'Adrar Chiriet. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Humaines* XV, 4, 379-406.
- Roset, J-P. 1982. Tagalagal : un site à céramique au Xe millénaire avant notre ère dans l'Aïr (Niger). *C. R. Acad. Inscriptions et Belles-Lettres*, 565-570.
- Roset, J-P. 1983. Nouvelles données sur le problème de la néolithisation du Sahara méridional : Aïr et Ténéré, au Niger. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* XIII, 2, 119-142.
- Roset, J-P. 1987a. Paleoclimatic and cultural conditions of Neolithic development in the early Holocene of Northern Niger (Aïr and Ténéré). In: Angela E. Close (Ed.), "Prehistory of Arid North Africa, Essays in honor of Fred Wendorf". Southern Methodist Univ. Press, Dallas, 211-234.
- Roset, J-P. 1987b. Néolithisation, néolithique et post-néolithique au Niger nord-oriental. *Bull. AFEQ* 4, 203-214.

- Rossignol-Strick, M. 1985. Mediterranean quaternary sapropels, an immediate response of the African monsoon to variation of insolation. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **49**, 237-263.
- Ruddiman, W.F. et Mc Intyre, A. 1981. The North Atlantic ocean during the last deglaciation. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* **35**, 145-214.
- Ruddiman, W.F. et Raymo, M.E. 1988. Northern Hemisphere climatic regimes during the past 3 Ma: possible tectonic connections. In: N.J. Shackleton, R.G. West et D.Q. Bowen (Eds.), "The past three million years: evolution of climatic variability in the North Atlantic Region". Phil. Trans. R. Soc. Lond. B **318**, 411-430.
- Rust, B.R. 1972. Structure and process in a braided river. *Sedimentology* **18**, 3-4, 159-219.
- Rust, B.R. 1978. Depositional models for braided alluvium. In: A.D. Miall (Ed.). "Fluvial Sedimentology". Geol. Surv. Canada, Mem. **5**, 605-625.
- Rust, B.R. et Koster, E.H. 1984. Coarse alluvial deposits. In: R.G. Walker (Ed.), "Facies models, second edition". Geoscience Canada, Reprint Series **1**, 53-69.
- Salomé, G., Fontes, J.-Ch. et Gasse, F. 1986. Programme PALHYDAF, sondage Ari Koukouri, Niger 1985. Univ. Paris-Sud, 48 p.
- Sarnthein, M. 1978. Sand deserts during glacial maximum and climatic optimum. *Nature* **272**, 43-46.
- Sarnthein, M. et Diester-Haass, L. 1977. Eolian-sand turbidites. *J. Sedim. Petrology* **47**, 2, 868-890.
- Sarnthein, M., Erlenkeuser, H. et Zahn, R. 1982b. Termination I: the response of continental climate in the subtropics as recorded in deep-sea sediments. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine* **31**, 393-407.
- Sarnthein, M. et Koopmann, B. 1980. Late Quaternary deep-sea record on northwest african dust supply and wind circulation. *Palaeoecology of Africa*, Balkema **12**, 239-253.
- Sarnthein, M., Tetzlaff, G., Koopmann, B., Wolter, K. et Pflaumann U. 1981. Glacial and interglacial wind regimes over the eastern subtropical Atlantic and north-west Africa. *Nature* **293**, 193-196.
- Sarnthein, M., Thiede, J., Pflaumann, U., Erlenkeuser, H., Futterer, D., Koopmann, B., Lange, H. et Seibold, E. 1982a. Atmospheric and oceanic circulation patterns off Northwest Africa during the past 25 million years. In: U. Von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein et E. Seibold (Eds.), "Geology of the Northwest African continental margin". Springer-Verlag, Berlin, 545-604.
- Sarnthein, M., Winn, K. et Zahn, R. 1987. Paleo-productivity of oceanic upwelling and the effect on atmospheric CO₂ and climatic change during deglaciation times. In: W.H. Berger et L.D. Labeyrie (Eds.), "Abrupt climatic change". Reidel, Dordrecht, 311-337.
- Saugy, L. 1987. The Benue trough and Bornu basin: new geological data enlightening the distribution of the cretaceous sedimentary basins. *Bull. Centre Rech. Exploration-Production Elf-Aquitaine* **11**, 1, 178-180.
- Schlumberger, R. 1974. Essai d'interprétation de buttes alignées dans le bassin de Paris. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* **XVI** (4), 363-391.
- Schneider, J.-L. 1966a. Carte hydrogéologique au 1/500.000e. Notice explicative de la feuille Fort-Lamy. BRGM, 13 p.
- Schneider, J.-L. 1966b. Carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/500.000e. Notice explicative de la feuille Mao. BRGM, 11 p.
- Schneider, J.-L. 1967a. Evolution du dernier lacustre et peuplements préhistoriques aux Pays Bas du Tchad. *Bull. ASEQUA*, Dakar **14-15**, 18-23.
- Schneider, J.-L. 1967b. Carte hydrogéologique au 1/500.000e. Rapport de synthèse de la feuille Fort-Lamy. BRGM, 62 p., 23 fig. et 1 carte.
- Schneider, J.-L. 1968a. Fluctuations des nappes au Kanem, Chari-Baguirmi et Batha : étude générale et fluctuations. BRGM, 41 p.
- Schneider, J.-L. 1968b. Carte hydrogéologique de reconnaissance au 1/500.000e. Rapport de synthèse de la feuille Pays Bas - Largeau. BRGM, 58 p.
- Schneider, J.-L. 1969. Carte hydrogéologique de la République du Tchad au 1/1.500.000e. BRGM et FAC.
- Schneider, J.-L. 1989. Géologie et hydrogéologie de la République du Tchad. Thèse, Avignon, 2 vol.
- Schulz, E. 1974. Pollenanalytische Untersuchungen quartärer Sedimente des Nordwest-Tibesti. *FU Pressedienst Wissenschaft*, Berlin **5**, 59-69.
- Schulz, E. 1987. Die holozäne vegetation der zentralen Sahara (N-Mali, N-Niger, SW-Lybien). *Palaeoecology of Africa*, Balkema **18**, 143-161.
- Schulz, E., Joseph, A., Baumhauer, R., Schultze, E. et Sponholz, B. 1991. Upper Pleistocene and Holocene history of the Bilma region (Kawar, NE-Niger). In: "Recent data in African Geology, 15th Colloquium of African Geology". CIFEG, Orléans, 281-284.
- Schumm, S.A. 1963. A tentative classification of alluvial river channels. *U.S. Geol. Surv. Circular* **477**, 10 p.
- Scotese, C.R., Gahagan, L.M. et Larson, R.L. 1988. Plate tectonic reconstructions of the cretaceous and cenozoic ocean basins. *Tectonophysics* **155**, 1-4, 27-48.
- Servant, M. 1967. Nouvelles données stratigraphiques sur le Quaternaire supérieur et récent au nord-est du lac Tchad. VIe Congr. Panafr. Préhist. Et. Quatern., Dakar et *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* (1970) **II**, 1, 95-114.

- Servant, M. 1973. *Séquences continentales et variations climatiques : Evolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur*. Thèse, Paris, 348 p. et 12 pl. photo., et *Trav. doc. ORSTOM* 159, 573 p. (1983).
- Servant, M. 1986. Le programme Géocit : une comparaison Afrique de l'Ouest/ Amérique sud-équatoriale (30.000-0 ans B.P.). In: H. Faure, L. Faure et E.S. Diop (Eds.), "*Changements Globaux en Afrique durant le Quaternaire : Passé - Présent - Futur*". Symposium INQUA-ASEQUA, Dakar. ORSTOM, Paris 439-440.
- Servant, M., Ergenzinger, P. et Coppens, Y. 1969a. Datations absolues sur un delta lacustre quaternaire au Sud du Tibesti (Angamma). *C. R. Somm. Soc. géol. France* 8, 313-314.
- Servant, M., Servant, S. et Delibrias, G. 1969b. Chronologie du Quaternaire récent des basses régions du Tchad. *C. R. Acad. Sci.* 269, 1603-1606.
- Servant, M. et Servant, S. 1970. Les formations lacustres et les diatomées du Quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. *Rev. Géogr. phys. Géol. dynam.* XII, 1, 63-76.
- Servant, et Servant-Vildary, S. 1980. L'environnement Quaternaire du bassin du Tchad. In: M.A.J. Williams et H. Faure (Eds.), "*The Sahara and the Nile*". Balkema, Rotterdam, 133-162.
- Servant-Vildary, S. 1973. Le Plio-Quaternaire ancien du Tchad : évolution des associations de Diatomées, stratigraphie, paléocéologie. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* V, 2, 169-215.
- Servant-Vildary, S. 1978. Etude des Diatomées et paléolimnologie du bassin tchadien au Cénozoïque supérieur. *Trav. doc. ORSTOM* 84, 2 vol., 345 p.
- Shackleton, N.J. et Opdyke, N.D. 1977. Oxygen isotope and palaeomagnetic evidence for early Northern Hemisphere glaciation. *Nature* 270, 216-219.
- Sieffermann, G. 1963. *Carte pédologique du Nord-Cameroun au 1/100.000e, feuille Kalfou*. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 65 p et 1 carte.
- Sieffermann, G. 1970. Variations climatiques au Quaternaire dans le Sud-Ouest de la cuvette tchadienne. *C.R. 92e Congr. Nat. Soc. Sav.*, Strasbourg et Colmar, 1967, 485-494.
- Sieffermann, G. et Valerie, M. 1963. *Carte pédologique du Nord-Cameroun au 1/100.000e, feuille Yagoua*. ORSTOM-IRCAM, Yaoundé, 79 p et 2 cartes.
- Sircoulon, J. 1984-1985. La sécheresse en Afrique de l'Ouest. Comparaison des années 1982-1984 avec les années 1972-1973. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* XXI, 4, 75-86.
- Smith, B.J. 1982. Effects of climate and land-use change on gully development: an example from Northern Nigeria. *Zeitschr. f. Geomorphologie, Suppl.* 44, 33-51.
- Smith, B.J. et Whalley, W.B. 1981. Late Quaternary drift deposits of North Central Nigeria examined by scanning electron microscopy. *Catena* 8, 345-367.
- Smith, W.O. 1980. Infiltration in sands and its relation to groundwater recharge. In: "*Water in the unsaturated zone*". Proceedings of the Wageningen Symposium, UNESCO/IASH 2, 851-865.
- Sollaud, M. et Tilho, J. 1911. Sur la présence dans le lac Tchad du *Palaemon niloticus* Roux (d'après les observations du Dr Gaillard de la mission Tilho). *C. R. Acad. Sci.* 152, 1868-1871.
- Sombroek, W.G. et Zonneveld, I.S. 1971. Ancient fields and fluvial deposits in the Rima-Sokoto river basin (NW Nigeria). *Soil Survey Papers*, Wageningen, Pays-Bas 5, 109 p. et 3 cartes.
- Sonntag, C., Thorweihe, U., Rodolph, J., Lohnert, E.P., Junghans, C., Munnich, K.O., Klitzch, E., El Shazly, E.M. et Swailem, F.M. 1980a. Paleoclimatic evidence in apparent ¹⁴C ages of saharian groundwaters. *Radiocarbon* 22, 3, 871-879.
- Sonntag, C., Thorweihe, U., Rodolph, J., Lohnert, E.P., Junghans, C., Munnich, K.O., Klitzch, E., El Shazly, E.M. et Swailem, F.M. 1980b. Isotopic identification of saharian groundwaters, groundwater formation in the past. *Palaeoecology of Africa*, Balkema 12, 159-171.
- Spaulding, W.G. 1991. Pluvial climatic episodes in North America and North Africa: types and correlation with global climate. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 84, 217-227.
- Stein, R. et Sarnthein, M. 1984. Late Neogene events of atmospheric and oceanic circulation offshore north-west Africa: high-resolution record from deep-sea sediments. *Palaeoecology of Africa*, Balkema 16, 9-36.
- Stokes, W.L. 1968. Multiple parallel-truncation bedding planes. A feature of wind-deposited sandstone formations. *J. Sedimentary Petrology* 38, 2, 510-515.
- Street, F.A. 1980. The relative importance of climate and local hydrogeological factors in influencing lake-level fluctuations. *Palaeoecology of Africa*, Balkema 12, 137-158.
- Street, F.A. et Grove, A.T. 1979. Global maps of lake-level fluctuations since 30,000 yr B.P. *Quaternary Research* 12, 83-118.
- Street-Perrott, F.A. et Harrison, S.P. 1985. Lake levels and climate reconstruction. In: A.D. Hecht (Ed.), "*Paleoclimate analysis and modeling*". John Wiley and Sons, New-York, 291-340.
- Street-Perrott, F.A. et Perrott, R.A. 1990. Abrupt climate fluctuations in the tropics: the influence of Atlantic ocean circulation. *Nature* 343, 607-612.

- Street-Perrott, F.A. et Roberts, N. 1983. Fluctuations in closed-basin lakes as an indicator of past atmospheric circulation patterns. In : F.A. Street-Perrott, M. Beran and R. Ratcliffe (Eds.), "*Variations in the Global Water Budget*". Reidel, Dordrecht, 331-345.
- Suc, J-P. 1982. Palynostratigraphie et paléoclimatologie du Pliocène et du Pléistocène inférieur en Méditerranée nord-occidentale. *C. R. Acad. Sci.* **294**, II, 1003-1008.
- Suc, J-P. 1984. Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature* **307**, 429-432.
- Suc, J-P. et Zagwijn, W.H. 1983. Plio-Pleistocene correlations between the northwestern Mediterranean region and northwestern Europe according to recent biostratigraphic and paleoclimatic data. *Boreas* **12**, 153-166.
- Taieb, M., Barker, P., Bonnefille, R., Dammati, B., Gasse, F., Goetz, C., Hillaire-Marcel, C., Icole, M., Massault, M., Roberts, N., Vincens, A. et Williamson, D. 1991. Histoire paléohydrologique du lac Magadi (Kenya) au Pléistocène supérieur. *C. R. Acad. Sci.* **313**, 339-346.
- Talbot, M.R. 1980. Environmental responses to climatic change in the West African Sahel over the past 20,000 years. In: M.A.J. Williams and H. Faure (Eds.), "*The Sahara and the Nile*". Balkema, 37-62.
- Talbot, M.R. 1984. Late Pleistocene rainfall and dune building in the Sahel. *Palaeoecology of Africa*, Balkema **16**, 203-214.
- Talbot, M.R. et Williams, M.A.J. 1978. Erosion of fixed dunes in the Sahel, central Niger. *Earth Surface Processes* **3**, 107-113.
- Talbot, M.R. et Williams, M.A.J. 1979. Cyclic alluvial fan sedimentation on the flanks of fixed dunes, Janjari, Central Niger. *Catena* **6**, 43-62.
- Taquet, P. 1976. Géologie et paléontologie du gisement de Gadoufaoua (Aptien du Niger). *Cah. Paléontologie*, CNRS, 121 p. et 24 pl.
- Tardy, Y. 1986. *Le cycle de l'eau. Climats, Paléoclimats et Géochimie globale*. Masson, Paris, 338 p.
- Tattam, C.M. 1943. A review of Nigeria stratigraphy. *Geol. Surv. Dept. Nigeria, Annual Report*, 27-46.
- Taylor, K.C., Lamorey, G.W., Doyle, G.A., Alley, R.B., Grootes, P.M., Mayewski P.A., White, J.W.C. and Barlow, L.K. 1993. The "flickering switch" of late Pleistocene climate change. *Nature* **361**, 432-436.
- Téhet, R., Gasse, F., Durand, A., Schroeter, P. et Fontes, J-Ch. 1990. Fluctuations climatiques du Tardiglaciaire à l'Actuel au Sahel (Bougoudouma, Niger méridional). *C. R. Acad. Sci.*, 253-258.
- Termier, P. 1912. *L'Atlantide*. Conférence à l'Institut océanographique de Paris et "A la gloire de la Terre", Desclée de Brouwer et Cie, 1922, 117-146.
- Termier, P. 1920. *Les océans à travers les âges*. Conférence à l'Institut océanographique de Paris et "A la gloire de la Terre", Desclée de Brouwer et Cie, 1922, 358-388.
- Termier, P. 1924. *La dérive des continents*. Conférence à l'Institut océanographique de Paris et "La joie de connaître", Desclée de Brouwer et Cie, 1925, 161-200.
- Tetzlaff, G. et Adams, L.J. 1983. Present-day and early holocene evaporation of Lake Chad. In: A. Street-Perrot, M. Beran and R. Ratcliffe (Eds.), "*Variations in the Global Water Budget*". Reidel, Dordrecht, 347-360.
- Tetzlaff, G. et Wolter, K. 1980. Meteorological patterns and the transport of mineral dust from the North African Continent. *Palaeoecology of Africa*, Balkema **12**, 31-42.
- Thiede, J., Pastouret, L. et Melguen, M. 1974. Sédimentation profonde au large du delta du Niger (golfe de Guinée). *C. R. Acad. Sci.* **278**, 987-990.
- Thompson, T.A. 1992. Beach-ridge development and lake-level variation in southern Lake Michigan. *Sedimentary Geology* **80**, 305-318.
- Tilho, J. 1906. Exploration du lac Tchad (février-mai 1904). *La Géographie* **XIII**, 195-213 et 1 carte.
- Tilho, J. 1909. Sur l'existence probable d'un centre très accentué de basses pressions dans la région du Tchad, d'après les observations de la mission Niger-Tchad. *C.R. Acad. Sci.* **149**, 646-648.
- Tilho, J. 1910a. *Documents scientifiques de la mission Tilho (1906-1909)*. Imprimerie Nationale, Paris I, 472 p. et 86 pl. h.t.
- Tilho, J. 1910b. Le Tchad et les pays-bas du Tchad. *La Géographie* **XXI**, 149-168 et 1 carte.
- Tilho, J. 1911. *Documents scientifiques de la mission Tilho (1906-1909)*. Imprimerie Nationale, Paris II, 639 p. et 17 pl. et 182 ph. h.t.
- Tilho, J. 1914. *Documents scientifiques de la mission Tilho (1906-1909)*. Larose, Paris III, 485 p. et pl. et cartes h.t.
- Tilho, J. 1916-1917. Exploration du commandant Tilho en Afrique centrale : Borkou, Ennedi, Tibesti, Dar-Four (1912-1917). *La Géographie* **XXXI**, 6-8, 401-417.
- Tilho, J. 1919. Une mission scientifique de l'Institut de France en Afrique centrale (Tibesti, Borkou, Ennedi). *C. R. Acad. Sci.* **168**, 984-988 et 1081-1089.
- Tilho, J. 1921. L'exploration du Sahara oriental. Mission Tilho, carte du Tibesti, du Borkou et de l'Ennedi. *La Géographie* **XXXVI**, 295-317 et 1 carte.
- Tilho, J. 1925a. Sur l'ordre de grandeur des variations de profondeur et d'étendue du lac Tchad. *C. R. Acad. Sci.* **180**, 1233-1236.

- Tilho, J. 1925b. Sur l'aire probable d'extension maxima de la mer paléotchadienne. *C. R. Acad. Sci.* **181**, 643-646.
- Tilho, J. 1926a. Sur une aggravation du danger de capture par le Niger des principaux affluents du Tchad. *C. R. Acad. Sci.* **182**, 1063-1065.
- Tilho, J. 1926b. *Du lac Tchad aux montagnes du Tibesti*. Imprimé à compte d'auteur, Paris, 103 p., 8 pl. photo et 3 cartes.
- Tilho, J. 1927. Devons-nous sauver le lac Tchad? *Rev. scientifique*, 454-463 et 487-498.
- Tilho, J. 1928. Variations et disparition possible du lac Tchad. *Ann. Géogr.* **207**, 238-260.
- Tilho, J. 1933. Remarques au sujet de la note de MM. Kilian et Petit-Lagrange. *C. R. Acad. Sci.* **197**, 1301-1302.
- Tilho, J. 1934a. Sur l'éventualité de la capture du Logone, affluent du Tchad, par le Niger. *C. R. Acad. Sci.* **199**, 752-755.
- Tilho, J. 1934b. Sur deux croquis concernant la capture éventuelle du Logone et ses conséquences pour le bassin du Tchad. *C. R. Acad. Sci.* **199**, 897-900.
- Tilho, J. 1934c. Le problème de l'Oued Tafassasset. *Bull. Comité de l'Afrique française* **44**, 3, 157-159.
- Tilho, J. 1935a. Le Logone quittera-t-il le bassin du Tchad? *Rev. gén. des Sci. Pures et Appl.* **16**, 652-663.
- Tilho, J. 1935b. Remarques au sujet de la note de M. Feyler. *C. R. Acad. Sci.* **200**, 724-727.
- Tilho, J. 1936. Sur l'état actuel de la zone de capture du Logone par la Bénoué. *C. R. Acad. Sci.* **202**, 2109-2113.
- Tilho, J. 1939. Au sujet de la capture du Logone par la Bénoué. *Rev. Scientifique* **77**, 159-171.
- Tilho, J. 1947. *Le Tchad et la capture du Logone par le Niger*. Gauthiers-Villars, Paris, 202 p., 15 pl. photo et 1 carte h.t.
- Tillet, T. 1983. *Le Paléolithique du bassin tchadien septentrional (Niger-Tchad)*. CNRS-LAPMO, Marseille, 319 p.
- Tongiorgi, E. et Trevisan, L. 1942. Un falso postulato di paleoclimatologia del Quaternaria: la corrispondenza tra periodi glaciali et periodi pluviali. *Atti della Soc. Toscana di Sci. Nat., Processi Verbali LI*, 5, 53-68.
- Tourre, Y., Merle, J. and Quilfen, Y. 1987. A sea-level pressure index (PAO) and the warm events in the tropical atlantic ocean. *Géodynamique* **2**, 2, 161-162.
- Trauth, N. 1977. Argiles évaporitiques dans la sédimentation carbonatée continentale et épicontinentale tertiaire. Bassins de Paris, de Mormoiron et de Salinelles (France), Ibel Ghassoul (Maroc). *Sci. Géologiques* **49**, 195 p.
- Tricart, J. 1956. Tentative de corrélation des périodes pluviales africaines et des périodes glaciaires. *C. R. Somm. Soc. géol. France*, 164-167.
- Tricart, J. 1965. Rapport de la mission de reconnaissance géomorphologique de la vallée moyenne du Niger. *Mém. IFAN*, Dakar **72**, 196 p., 1 carte et 7 pl. photo h.t.
- Truesdell, A.H. et Hulston, J.R. 1970. Isotopic evidence on environments of geothermal systems. In: P. Fritz et J-Ch. Fontes (Eds.), "*Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*". Elsevier, 126-179.
- Truffert, J. 1903. Région du Tchad: le Bahr-El-Ghazal et l'archipel Kouri. *Rev. Géographie*, 481-502 et 1 pl.
- Tschirhart G. 1959. Les perturbations atmosphériques intéressant l'AEF méridionale. *Monogr. Météo. Nat.* **13**, 31 p.
- Urvoy, Y. 1933. Les formes dunaires à l'Ouest du Tchad. *Ann. Géogr.* **42**, 239, 506-515.
- Urvoy, Y. 1935. Terrasses et changements de climat quaternaires à l'Est du Niger. *Ann. Géogr.* **44**, 249, 254-263.
- Urvoy, Y. 1942. Les bassins du Niger. Etude de géographie physique et de paléogéographie. *Mém. IFAN*, Dakar **5**, 141 p., 6 pl. photo et 4 cartes h.t.
- Valsardieu, C. 1971. *Etude géologique et paléogéographique du bassin du Tim Mersoï. Région d'Agadés (Rép. du Niger)*. Thèse, Nice, 318 p.
- Vaudour, J. 1979. *La région de Madrid : altérations, sols et paléosols*. Ophrys, 390 p.
- Vermeersch, P.M., Paulissen, E. et Van Peer, Ph. 1991. Vallée du Nil. In: T. Tillet (Ed.), "*Paleomilieus et peuplements préhistoriques sahariens au Pléistocène supérieur*". Univ. Limoges et PICG-UNESCO **252**, Chap. 5-C, 19 p.
- Vincent, P.M. 1963. Les volcans tertiaires et quaternaires du Tibesti occidental et central (Sahara du Tchad). *Mém. BRGM* **23**, 307 p.
- Vogt, J. 1959. Aspects de l'évolution morphologique récente de l'Ouest africain. *Ann. Géogr.* **367**, 193-206.
- Voute, C. 1962. Geological and morphological evolution of the Niger and Benue valleys. *Annales Musée Royal de l'Afrique centrale, sci. humaines*, Tervuren **40**, 189-207.
- Vuillaume, G. 1981. Bilan hydrologique mensuel et modélisation sommaire du régime hydrologique du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.* **XVIII**, 1, 23-72.
- Wacrenier, Ph. 1953. Coupure géologique Garoua-Est et Laï partie A.E.F. *Rapport annuel du service géologique de l'A.E.F.*, Direction des Mines et de la Géologie, p. 66-71 et 1 carte.
- Walker, J. et Rowntree, P.R. 1977. The effect of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* **103**, 29-46.

- Walker, R.G. et Cant, D.J. 1984. Sandy fluvial systems. In: R.G. Walker (Ed.), "*Facies models, second edition*". Geoscience Canada, Reprint Series 1, 71-89.
- Walter, R.C. et Aronson, J.L. 1982. Revisions of K/Ar ages for the Hadar hominid site, Ethiopia. *Nature* 296, 122-127.
- Warren, A. 1970. Dune trends and their implications in the central Sudan. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.* 10, 154-180.
- Warren, A. 1972. Observations on dunes and bi-modal sands in the Ténéré desert. *Sedimentology* 19, 37-44.
- Watts, W.A. 1980. Regional variation in the response of vegetation to Lateglacial climatic events in Europe. In: J.J. Lowe, J.M. Gray et J.E. Robinson (Eds.), "*The Lateglacial of North-West Europe*". Pergamon Press, Oxford, 1-21.
- Weaver, A.J., Sarachik, E.S. et Marotze, J. 1991. Freshwater flux forcing of decadal and interdecadal oceanic variability. *Nature* 353, 836-838.
- Williams, M.A.J., Adamson, D.A., Williams, F.M., Morton, W.H. et Parry, D.E. 1980. Jebel Marra volcano: a link between the Nile valley, the Sahara and Central Africa. In: M.A.J. Williams et H. Faure (Eds.), "*The Sahara and the Nile*", Balkema, 305-337.
- Williams, M.A.J., Getaneh Assefa and Adamson, D.A. 1986. Depositional context of Plio-Pleistocene hominid-bearing formations in the Middle Awash valley, southern Afar Rift, Ethiopia. In: L.E. Frostick et al. (Eds.), "*Sedimentation in the African Rifts*". Geological Society Spec. Publ. 25, 241-251.
- Wilson, I.G. 1971. Desert sandflow basins and a model for the development of ergs. *Geographical Journal* 137, 180-199.
- Wilson, I.G. 1972. Aeolian bedforms, their development and origins. *Sedimentology* 19, 173-210.
- Wilson, I.G. 1973. Ergs. *Sedimentary Geology* 10, 77-106.
- Wilson, B.H. and Dincer, T. 1976. An introduction to the hydrology and hydrography of the Okavango delta. In: "*Symp. on the Okavango Delta*". Botswana Society, Gaborone, 33-48.
- Wolff, J-P. 1964. *Carte géologique de la république du Tchad au 1/1.500.000e*. BRGM.
- Yaalon, D.H. 1987. Saharan dust and desert loess: effect on surrounding soils. *J.Afr.Earth.Sci.* 6, 4, 569-571.
- Yahaya, M. 1992. *Dynamique sédimentaire du Guezouman et des formations viséennes sous-jacentes en liaison avec la tectonique, le volcanisme et le climat*. Thèse, Dijon, 357 p.
- Zagwijn, W.H. 1974. The Pliocene-Pleistocene boundary in western and southern Europe. *Boreas* 3, 75-97.
- Zagwijn, W.H. et Suc, J-P. 1984. Palynostratigraphie du Plio-Pléistocène d'Europe et de Méditerranée nord-occidentale : corrélations chronostratigraphiques, histoire de la végétation et du climat. *Paléobiologie continentale*, Montpellier XIV, 2, 475-483.
- Zahn, R. 1992. Deep ocean circulation puzzle. *Nature* 356, 744-746.
- Zoller, H. 1960. Pollenanalytische untersuchungen zur vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz. *Denkschr. Schweiz Naturf. Ges.* 88, 2, 45-157.
- Zouridakis, N. 1976. *Etude isotopique (¹⁴C, ¹³C, ¹⁸O) de la série carbonatée des natronières au Nord-Est du lac Tchad*. Thèse, Paris VI, 41 p.

DATATIONS

GIF : Centre des Faibles Radioactivités. CNRS. Gif-sur-Yvette.

LHGI : Laboratoire d'Hydrologie et Géochimie Isotopique. Orsay.

Age ¹⁴ C B.P.	Nature	Localisation et référence	Laboratoire
Contemporain	<i>Caelatura aegyptica</i>	Proximité du "cordon périlacustre de 290 m" (15°11'E - 12°52'N)	GIF 3838
Contemporain	lamellibranches	Base du "cordon périlacustre de 290 m" (15°03'E - 12°48'N)	GIF 3836
Contemporain	charbon	Madarounfa A n° 8 (7°09'E - 13°19'N)	LHGI 2587
Contemporain	<i>Biomphalaria</i> sp.	Fourdirom, AD.82.26 (13°18'E - 14°22'N)	LHGI 2428
770 ±110	calcite diagénétique	Kelakam n° 7-11 (11°44'E - 13°33'N)	LHGI 1530
1070 ±80	calcite diagénétique	Jajiri C n° 13 (11°35'E - 13°34'N)	LHGI 1542
1260 ±100	<i>Bulinus</i> sp. et <i>Planorbis</i> sp.	NE Garoumélé, AD.82.28 (12°59'E - 14°08'N)	LHGI 2429
1295 ±330	croûte calcaire	Soumtourou, AD.82.29 (12°53'E - 14°02'N)	LHGI 2725
1430 ±80	concrétions calcaires	Elmougoulima n° 0 (7°06'E - 13°26'N)	LHGI 1547
1870 ±100	calcite	N'Guigmi n° 44 (13°06'E - 14°15'N)	LHGI 1616
1910 ±20	calcite diagénétique	Isari n° 31 (12°17'E - 13°39'N)	LHGI 2631
1970 ±145	calcite	N'Guigmi n° 60 (13°06'E - 14°15'N)	LHGI 1601
2070 ±75	<i>Melania</i> sp.	NE Mara, AD.82.27 (13°00'E - 14°09'N)	LHGI 2426
2650 ±150	<i>Melania</i> sp.	Mainé-Soroa surface (12°01'E - 13°11'N)	LHGI 1615
2970 ±200	<i>Melania</i> sp.	NE Ranch (12°42'E - 13°51'N)	LHGI 1598
3810 ±100	calcite	N'Guigmi n° 29 (13°06'E - 14°15'N)	LHGI
3880 ±80	bois	Angoal Mata (7°11'E - 13°20'N)	LHGI
3985 ±130	calcite	N'Guigmi n° 28 (13°06'E - 14°15'N)	LHGI 1626
6590 ±200	calcite diagénétique	Bwori A n° 38b (13°08'E - 13°55'N)	LHGI 1529
6635 ±110	calcite (diagénétique?)	Eche Youma Nga, AD.82.03 (11°00'E - 16°22'N)	LHGI 2721
6950 ±250	lamellibranches	Mitimi (13°12'E - 14°30'N)	LHGI 2413
7065 ±210	calcite	Mainé-Soroa B n° 3 (12°01'E - 13°12'N)	LHGI 1696
8430 ±85	calcite (fraction < 80 µm)	Mainé-Soroa A n° 6 (12°01'E - 13°12'N)	LHGI
8430 ±120	calcite	Mainé-Soroa A n° 6 (12°01'E - 13°12'N)	LHGI 1527

8580 ±140	calcite	N'Guigmi-aéroport (13°07'E - 14°14'N)	LHGI 1624
9210 ±150	calcite	Arikou Kouri A n° 6 (13°07'E - 13°56'N)	LHGI 1628
9420 ±250	calcite	Widi P n° 2 (13°00'E - 14°06'N)	LHGI 1747
9930 ±240	calcite	Bwori A n° 37 (13°08'E - 13°55'N)	LHGI
10,200 ±200	<i>Melania tuberculata</i> remaniées	Widi n° 30 (13°00'E - 14°06'N)	LHGI 1692
10,265 ±300	<i>Melania tuberculata</i> remaniées	Bwori B, = A n° 15-12 (13°08'E - 13°55'N)	LHGI 1586
10,600 ±180	<i>Melania tuberculata</i> remaniées	Widi n° 24-25 (13°00'E - 14°06'N)	LHGI 1671
10,650 ±200	calcite	Arikou Kouri C n° 69 (13°07'E - 13°56'N)	LHGI
10,660 ±300	<i>Biomphalaria</i> sp. et <i>Bulinus</i> sp.	Widi n° 38-39 (13°00'E - 14°06'N)	LHGI 1673
10,760 ±070	calcite diagénétique	Mainé-Soroa A n° 2 (12°01'E - 13°12'N)	LHGI 2542
11,200 ±230	calcite	Kéréfifié n° 5 (15°06'E - 12°45'N)	GIF 3833
11,300 ±230	<i>Melania</i> sp.	Kéréfifié n° 5 bis (15°06'E - 12°45'N)	GIF 3834
11,430 ±300	Gastéropodes remaniés	Bwori CC = A n° 30-24 (13°08'E - 13°55'N)	LHGI 1585
11,435 ±200	Gastéropodes	Bwori G = A n° 40-37 (13°08'E - 13°55'N)	LHGI 1558
12,075 ±400	calcite	Jajiri C n° 10 (11°35'E - 13°34'N)	LHGI 1744
12,600 ±400	calcite diagénétique	Bout El Fil n° 5 (14°57'E - 12°34'N)	LHGI 1072
12,700 ±660	calcite	Mainé-Soroa A (12°01'E - 13°12'N)	LHGI
12,930 ±600	calcite	Tourba A n° 4 (15°17'E - 12°52'N)	LHGI 1071
14,000 ±290	calcite (diagénétique?)	Alkouk n° 17 (14°58'E - 12°53'N)	GIF 3830
17,000 ±550	calcite	Karal centre n° 9 (14°46'E - 12°50'N)	LHGI 1073
17,260 ±700	calcite	Alkouk n° 13 (14°58'E - 12°53'N)	LHGI 1046
20,600 ±600	ankérite et calcite	Chedidé n° 16 (14°57'E - 12°47'N)	GIF 3831
21,900 ±1100	calcite	Karal centre n° 20 (14°46'E - 12°50'N)	LHGI 1070
28,400 ±1700	calcite	Alkouk n° 23 (14°58'E - 12°53'N)	GIF 3829
≥ 30,000	ankérite	Chedidé n° 18 (14°57'E - 12°47'N)	GIF 3832
≥ 35,000	calcite	Cach Malamat n° 14 (15°00'E - 12°45'N)	GIF 3835

AFRICA GEOSCIENCE REVIEW

Sédiments quaternaires et changements climatiques au Sahel central (Niger et Tchad)

Volume 2 Numbers 3 & 4	Contents	1995
Cornelius A. Kogbe	v	Editorial
J. Lang and C. A. Kogbe	vii	Forward
J. Lang and C. A. Kogbe	ix	Introduction générale
A. Durand	323	Résumé
	324	Extended abstract
	330	Introduction
	332	Cadre géographique, géologique et climatique
	351	Agents et milieux de sédimentation actuels : exemple du bassin du Chari
	371	L'héritage éolien et l'aridité : importance géomorphologique, lithologique et stratigraphique des sables éoliens plio-quaternaires
	399	L'évolution du lac Tchad témoin de l'humidité : analyse épistémologique
	432	Les deltas du Chari : cadre climatostratigraphique et évolution paléohydrologique depuis 50,000 ans
	458	Piémonts orientaux de l'Aïr et bassin du Moyen-Niger : place des sables éoliens et aridité du Kanémien
	522	Manga méridional et Kadzell : -déflation éolienne et humidité au Kanémien. - le Mégatchad holocène : maximum humide ou néotectonique ?
	562	Le centre du bassin du Tchad au Tardiglaciaire (14,000-9500 ¹⁴ C B.P.): essai d'interprétation des crises climatiques au Sahel
	578	Conclusions
	584	Bibliographie
V. Arad	615	Current Bibliography of Middle East Geology
V. Arad	627	Current Bibliography of Middle East Geology
	I	Volume 2 (1995) Title Page, Volume Contents and Author Index



**THE AFRICA GEOSCIENCE REFERENCE SERIES
PUBLISHED BY
ROCK VIEW INTERNATIONAL S.A.R.L PARIS
IN ASSOCIATION WITH
THE PAN AFRICAN PRESS (PTY) LTD PRETORIA**