

Alain DURAND - François PARIS - Jean-François SALIÈGE

avec les contributions de

Philippe COLUMEAU, Alain MOREL, François MOUCHET,
Wim van NEER et Alain PERSON

Vallée de l'Azawagh

(Sahara du Niger)

ÉTUDES NIGÉRIENNES N° 57

LIVRE I

**Peuplements et environnements
holocènes du bassin oriental de
l'Azawagh (Niger)**

Cadre de l'étude

Introduction

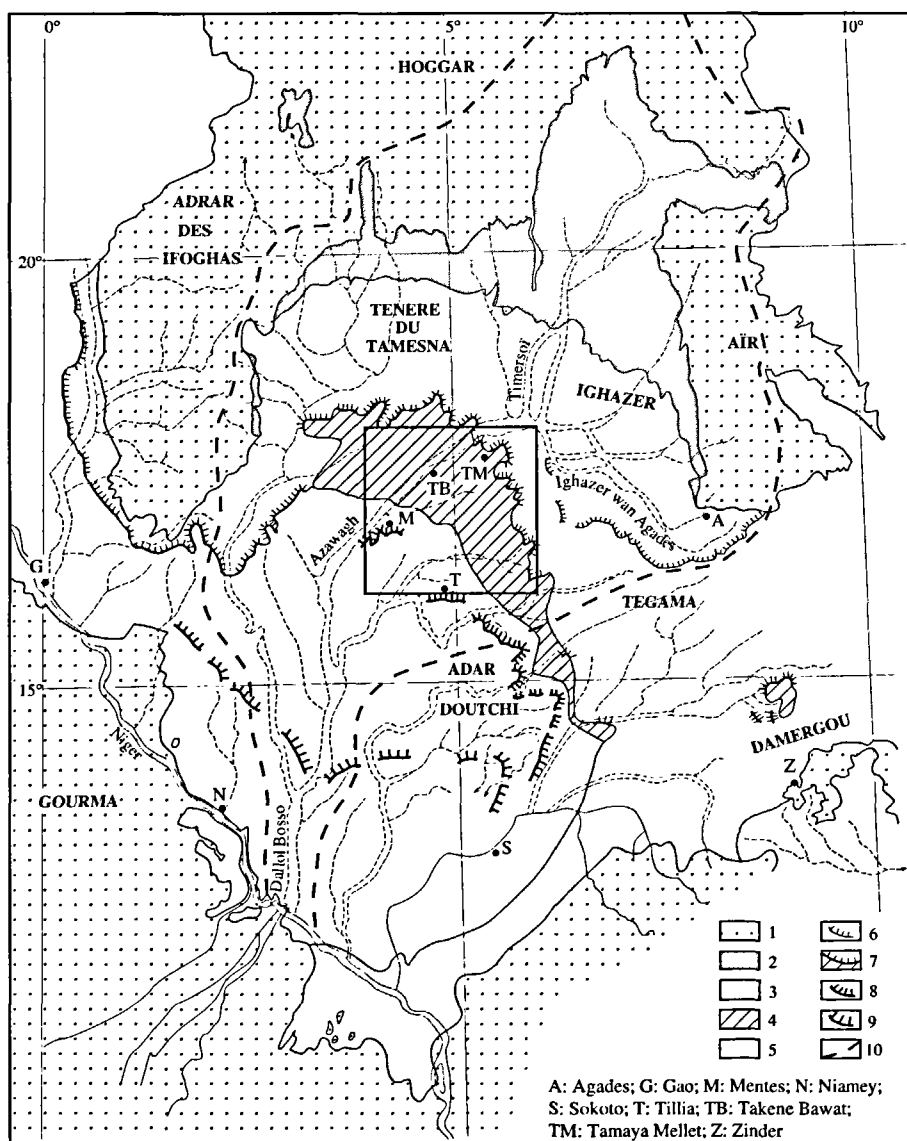
La région étudiée appartient à l'un de ces grands bassins sédimentaires qui s'échelonnent en Afrique de l'Ouest, de la Mauritanie au Tchad. Les géologues, depuis Radier (1957), de Greigert (1966) à Alzouma (1994) et Dikouma (1994), l'appellent « bassin des Iullemmeden », du nom de la confédération touarègue qui occupe ce territoire. Sa phase principale de remplissage sédimentaire débute au Mésozoïque (Bellion, 1987). Elle a été provoquée par une importante subsidence en liaison avec l'ouverture de l'Océan Atlantique sud. Les dépôts alternants carbonatés, gréseux et argileux, constituent actuellement un immense plateau dont les niveaux résistants ont été mis en relief par l'érosion (Urvoy, 1942).

Plus précisément, la région étudiée appartient au bassin versant de l'Azawagh, un fleuve fossile, de près de 1600 kilomètres de long, qui se nomme d'abord Timersoï dans sa partie nord, Azawagh dans sa partie centrale, puis Dallol Bosso plus au Sud (fig. 1). C'est le plus important des réseaux hydrographiques du Sahara méridional. Limité au Nord par le Hoggar et ses contreforts, à l'Est par l'Aïr et à l'Ouest par l'Adrar des Ifoghas, il drainait vers le Niger les ruissellements venus de ces trois reliefs montagneux. Ainsi, on note une recharge de l'aquifère du Timersoï à partir de l'Aïr entre 18,000 et 2500 ans ^{14}C BP⁽¹⁾ (Joseph, 1989).

(1) Toutes les datations du Quaternaire supérieur, mentionnées dans ce travail, ont été obtenues par la méthode du carbone 14. Les datations conventionnelles normalisées sont exprimées en années BP. Les datations calibrées sont exprimées en années BC ou AD (*cf. infra* : Chronologie et méthode de datation).

FIGURE 1 : le bassin sédimentaire des Iullemmenden et le bassin versant de l'Azawagh, d'après Greigert (1966).

1 : socle cristallin ; 2 : Paléozoïque ; 3 : Continental intercalaire et Continental hamadien ; 4 : Crétacé moyen ; 5 : Crétacé supérieur, Paléocène et Eocène marin, Continental terminal et Plio-Quaternaire ; 6 : falaise de Tigidit séparant la plaine argileuse de l'Ighazer et les grès du Tegama ; 7 : côte cénomano-turonienne ; 8 : côte sénonienne et paléocène ; 9 : côte des grès argileux du Moyen-Niger (Continental terminal) ; 10 : limites du bassin versant de l'Azawagh. En encadré la partie orientale du moyen bassin de l'Azawagh qui a été étudiée.



Cet immense territoire – plus de 420 000 kilomètres carrés – contient, sur le plan écologique, les mondes sahariens, sahéliens et nord-soudanais. Cette graduation latitudinale dans les paysages se retrouve dans l'occupation humaine. C'est, en effet, un lieu privilégié où une occupation humaine est encore actuellement possible malgré des conditions arides. Des milieux sahariens et sahéliens où vivent les éleveurs nomades arabes, touaregs et peuls, on passe progressivement aux villages des cultivateurs-éleveurs sédentaires kourfey.

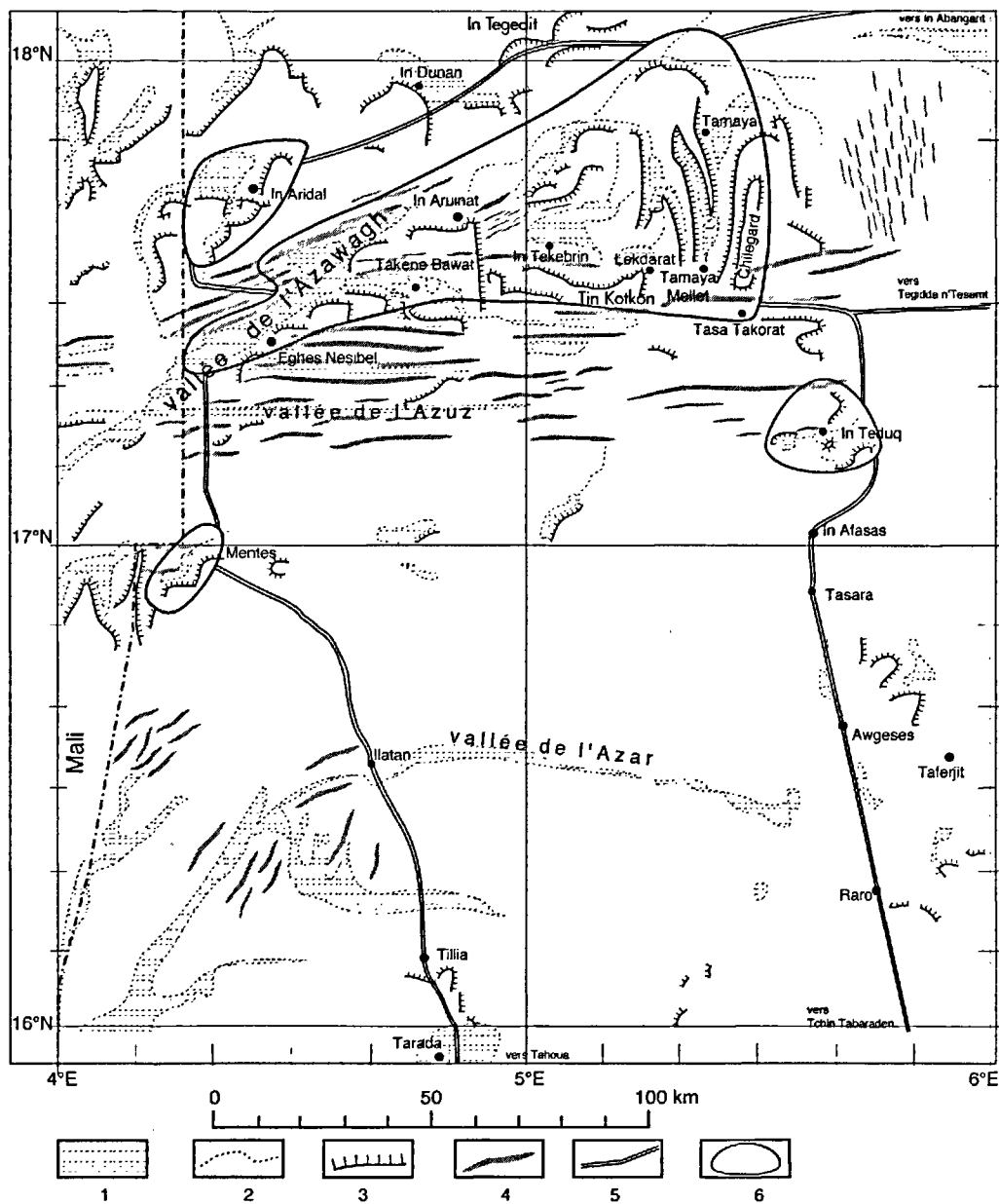
Le bassin de l'Azawagh peut donc être considéré comme un lien, une voie de communication et de contact entre le Sahara central et le Soudan. Son étude devrait permettre de voir comment les rapports entre ces mondes ont évolué au cours des temps.

Historique des recherches

Reprenant les travaux exploratoires longtemps interrompus (Le Rumeur, 1933 ; Joleau, 1934 ; Lambert, 1935 ; Lhote, 1936, 1950 et 1976 ; Dresch et Rougerie, 1960), nous avons effectué, dans le cadre du programme *Vallée de l'Azawagh, du Néolithique à l'époque actuelle*, cinq missions, toutes réalisées dans la partie orientale du moyen bassin de l'Azawagh (4° à 6° E et 16° à 18°N, fig. 1). Le programme proprement dit s'est déroulé entre 1984 et 1990. Mais, dès 1979, une courte tournée de reconnaissance de Alain Durand (géologue) et François Paris (archéologue) dans la dépression de Mentès et la vallée de l'Azawagh avait montré l'intérêt de cette région pour l'étude de l'occupation humaine des contrées situées à l'Ouest de l'Aïr durant l'Holocène. L'étude de cette région devait permettre de compléter les travaux alors en cours dans la région de l'Ighazer wan Agades (Paris, 1996 et fig. 1).

En novembre 1984, une première mission de deux semaines, effectuée par Alain Durand et François Paris, a reconnu les régions d'In Teduq, Tamaya Mellet, In Aridal, Takene Bawat, In Tekebrin et Tin Kotkon (fig. 2). Cette tournée a permis de circonscrire l'aire de prospection. En novembre 1985, une seconde mission de trois semaines a permis de revoir tous les sites reconnus précédemment, à l'exception des régions d'In Aridal et In Teduq. L'équipe scientifique était constituée de Philippe Columbeau (archéozoologue), Alain Durand, Alain Morel (géomorpho-

FIGURE 2 : Itinéraires et régions étudiées



logue), François Paris, Alain Person (géologue) et Jean-François Saliège (géochimiste). En novembre 1987, Paris, Person et Saliège sont revenus trois semaines dans les régions d'In Tekebrin et Tamaya Mellet. En février 1990, une nouvelle mission de deux semaines a eu lieu, centrée sur les régions d'In Tekebrin et Takene Bawat. L'équipe, constituée de Paris, Person et Saliège était complétée par deux étudiants. Maga Issaka Abdoulaye avait pour tâche d'entreprendre des fouilles sur un gisement de la région d'In Tekebrin (fig. 2), dans le cadre de sa thèse sur le Néolithique de l'Azawagh, alors que Lola Bonnabel devait étudier un autre site, dans le même secteur, dans le cadre de son DEA.

Au cours de ces dix semaines de terrain et près de 12 000 km de prospection, quatre-vingt-dix sites ont été décrits (soixante-quinze sites archéologiques et quinze coupes géologiques). Cela peut paraître peu au vu de la région étudiée (2), mais notre but n'était pas de dresser l'inventaire le plus exhaustif possible des sites archéologiques de l'Azawagh nigérien. Il eût fallu pour cela des missions de beaucoup plus longue durée, ce qui n'était pas envisageable. Notre objectif était plutôt d'identifier un nombre suffisant de gisements dans des régions « représentatives » afin de pouvoir comprendre l'environnement et l'occupation de la vallée de l'Azawagh au cours des dix derniers millénaires. Mais, avant d'aborder cette question, nous allons présenter le cadre physique de la région.

Le cadre géomorphologique et géologique

Le substratum, visible au Nord et à l'Est, est constitué par les dépôts continentaux du Crétacé inférieur et du Cénomanien inférieur, essentiellement gréseux (Continental intercalaire, fig. 1.3). Ce substratum est surmonté par une épaisse série (600m environ) allant du Cénomanien supérieur à l'Eocène moyen (fig. 1.4 et pour partie 5) et qui constitue un plateau affecté d'un pendage vers le Sud-Ouest (Greigert, 1966). Dans cette série alternent, ou coexistent latéralement, des dépôts marins et continentaux, calcaires, gréseux et argileux, voire gypseux (Alzouma, 1994 ; Dikouma, 1994). Cette série est surmontée, au Sud de la zone étu-

(2) Dans la seule région d'In Teduq, particulièrement occupée il est vrai, trente et un sites néolithiques et post-néolithiques ont été identifiés. Mais dans notre décompte, nous n'avons retenu que les trois sites qui ont été étudiés (*cf. infra* : Sites).

diée, par plusieurs centaines de mètres de dépôts tertiaires essentiellement détritiques (Continental terminal : post-Eocène moyen à Pliocène inférieur ; Dubois, 1979 ; Dubois et Lang, 1981 ; Lang *et al.*, 1986 et 1990).

Cette série a été entaillée par l'érosion qui, à partir du Pliocène supérieur (Durand, 1995), a dégagé de larges vallées orientées principalement NE-SW et NS (fig. 1). Dans le massif de l'Aïr, le début de l'entaille a été daté par le volcanisme entre 3,8 et 2,6 Ma (Morel, 1985a). Plusieurs terrasses anciennes sont connues au Niger (Dubois *et al.*, 1978 et 1984 ; Durand *et al.*, 1981-1982 ; Morel, 1985a). La plus ancienne, attribuée à la fin du Pliocène (Durand, 1995) soit entre 2 et 1,7 Ma, pourrait correspondre dans la région de Mentès à une haute terrasse montrant en surface des moulages de nénuphars très bien conservés. Une terrasse à galets, observable au pied de l'escarpement d'In Aruinat correspondrait à un autre de ces épisodes anciens. Le lit majeur de l'Azawagh pouvait alors atteindre dix kilomètres de large tandis qu'à l'Holocène il ne devait pas excéder cinq kilomètres.

Les sables éoliens semblent apparaître dans la région au début du Quaternaire, soit vers 1,7 Ma (Courel, 1977 ; Ousseini, 1986 ; Durand, 1995). Depuis, épisodes arides et humides alternent au rythme des variations des paramètres de l'orbite terrestre (Stein et Sarnthein, 1984). D'un épisode à l'autre, les sables éoliens ont été accumulés pour former des quantités importantes qui ont désorganisé les réseaux fluviaux. Seule la vallée de l'Azawagh reste bien marquée dans le paysage car, directement et bien alimentée par les « châteaux d'eau » de l'Aïr et du Hoggar, elle a pu fonctionner comme un fleuve. Les vallées affluentes sont beaucoup moins nettes. Ne bénéficiant pas des mêmes apports hydriques, ces cours d'eau n'ont pas été assez puissants pour débayer les ensablements éoliens. Ceux qui apparaissent sur les cartes comme des oueds (fig. 2), ne sont donc, depuis longtemps, que des cuvettes isolées, des défluent occasionnels formant des vallées suspendues ou des bras morts. Néanmoins, ces zones ont été favorables à la formation de mares et de lacs, alimentés en eau par les ruissellements locaux et les remontées de nappes ou encore par les crues de l'Azawagh qui s'y déversaient. Ce fonctionnement pouvait se comparer à celui du Niger actuel dans la zone lacustre, au nord du Delta intérieur au Mali.

De tels paléo-milieus aquatiques sont attestés par la présence d'une faune abondante – mollusques, poissons, grands mammifères – ainsi que par de très nombreux sites d'habitat humain. C'est d'ailleurs dans ces vallées non fonctionnelles et autour de ces lacs, que l'on retrouve les traces les plus anciennes, préservées des crues dévastatrices de l'Azawagh (*e.g.* Mentès, Takene Bawat, Tamaya Mellet). Le long des berges de ce dernier, on ne trouve plus que des sites datant de la dernière période d'écoulement de l'Azawagh. Malheureusement, les dépôts aquatiques eux-mêmes sont très rares, en raison des sédiments éoliens plus récents qui parfois les recouvrent, mais surtout de l'érosion postérieure. Les rares dépôts diatomitiques observés (*e.g.* Tin Kotkon ou Tarada) sont peu épais. Une chronologie sommaire des événements climatiques a néanmoins pu être établie de manière relativement précise pour les époques les plus récentes (Durand et Paris, 1986 ; Paris *et al.*, 1993).

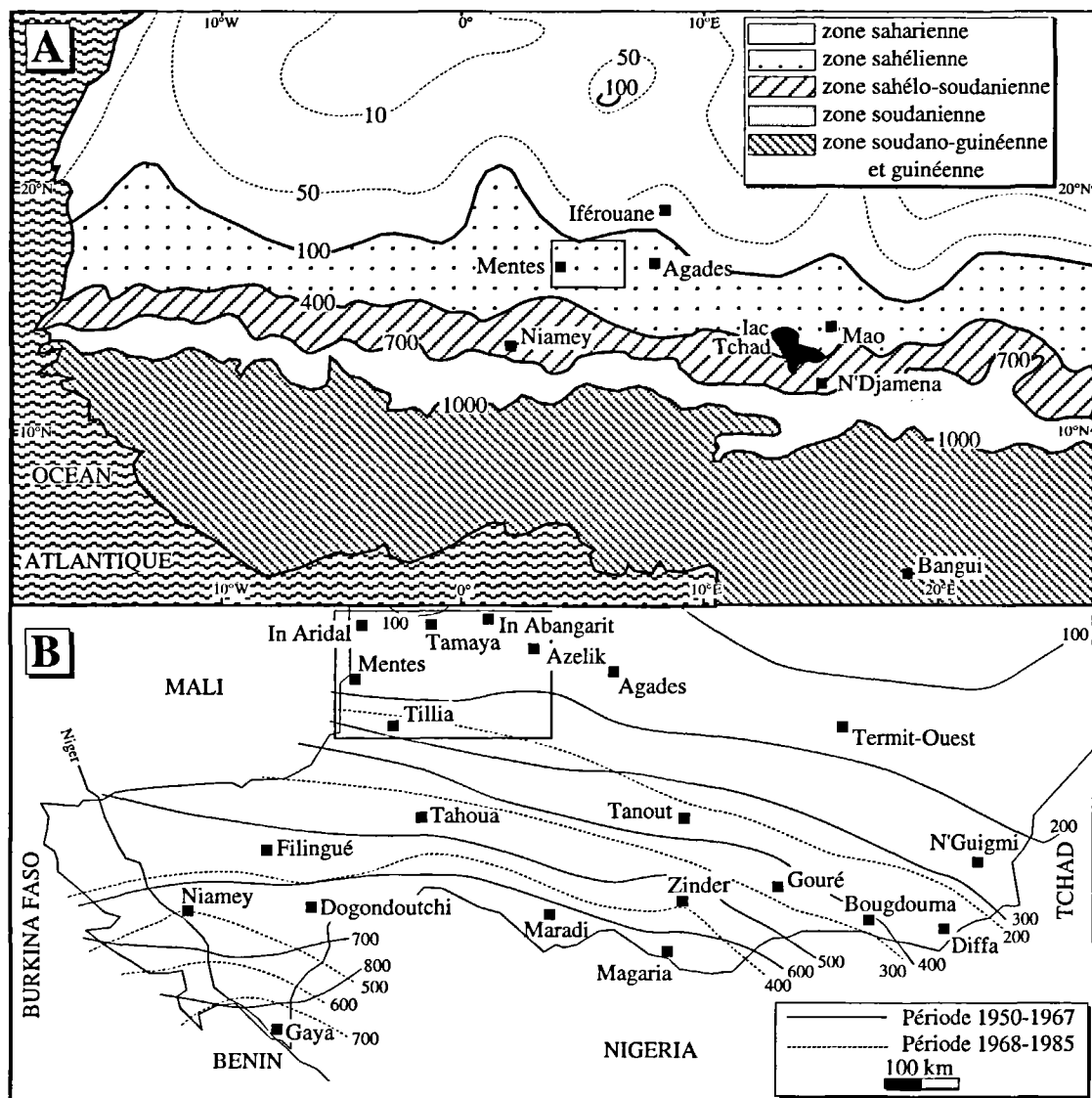
Stratigraphie et paléoenvironnements du Quaternaire supérieur

Le Quaternaire supérieur est marqué par l'abondance des sables éoliens dont la majeure partie relève d'un erg ancien daté comme antérieur à 30,000 BP au moins dans les régions proches du bassin du lac Tchad (Servant, 1973 ; Maley, 1981 ; Durand et Lang, 1986). Ces sables constituent de grandes dunes rouges de plusieurs dizaines de kilomètres de long, orientées Est-Ouest. Dans les zones basses ces sables ont été grésifiés, puis ils ont connu une nouvelle phase aride avec une phase éolienne érosive intense. Cette période correspondrait au Kanémien du Tchad et à l'Ogolien de Mauritanie et du Sénégal (21,000-13,000 BP). Le retour des conditions humides au Pléistocène terminal n'a pas été observé dans notre région, mais des encroûtements calcaires attestent de circulations d'eau dès 11,000 BP un peu plus au Sud, à Tarwada, dans la région de Tahoua (15°N environ), (Durand et Paris, 1986).

Le grand épisode humide de l'Holocène inférieur, connu dans tout le Sahara méridional, a bien été retrouvé ici. Il a été daté entre 9300 et 7800 BP environ, sur des lumachelles, des restes de faune aquatique et des sables carbonatés (Tarada, Takene Bawat, Tamaya Mellet). Ces dépôts occupent parfois la position d'une moyenne terrasse récente,

FIGURE 3 : Répartition des apports en eau

A : Précipitations moyennes annuelles de 1931 à 1970, d'après Leroux (1980) (isohyètes en mm) ; B : Carte pluviométrique du Sud-Niger, d'après Ozer et Erpicum (1995) : les isohyètes sont calculées sur les périodes humides 1950-1967 et sèches 1968-1985.



repère morphologique remarquable en Afrique de l'Ouest (Maley, 1981 ; Morel, 1985a ; Durand, 1995). Le début de l'érosion ayant dégagé cette moyenne terrasse a été daté au Tibesti entre 7300 et 7100 BP environ et la phase majeure après 6500 BP (Jäkel, 1979). C'est une période de changement climatique majeur au Sahara méridional, lié à l'apparition d'un régime pluviométrique contrasté (Servant, 1973). Dans le bassin de l'Azawagh, on note une lacune d'observation qui, par comparaison avec ce que l'on connaît au Mali (Hillaire-Marcel *et al.*, 1983 ; Riser *et al.*, 1983), pourrait traduire un épisode plus aride. Puis viennent des dépôts essentiellement palustres, datés entre 6400 et 5900 BP environ, et des paléosols dont certains sont accompagnés d'importantes remobilisations du fer. C'est effectivement vers 6000-5700 BP que débute dans le Nord du bassin du Tchad (Maley, 1981, p. 153 à 170) la formation de tubulures ferrugineuses provoquée par la précipitation d'hydroxydes de fer en liaison avec le développement des racines des plantes (faciès « tapis-brosse » de Coque, 1978). Ces phénomènes de ferruginisation sont notés jusque vers 4400 BP dans le bassin du Tchad (Maley, 1981).

• Un autre épisode humide de moindre amplitude, attesté par des sédiments calcaires diatomitiques est daté dans l'Azawagh de 5400 à 4200 BP. Les dépôts ultérieurs sont mal connus mais nous avons pu mettre en évidence, dans l'Ighazer wan Agades, affluent principal de l'Azawagh en provenance de l'Aïr, un ultime épisode humide avec une grande faune aquatique, entre 3900 et 3300 BP (Paris, 1996). Ensuite, les conditions qui règnent actuellement se sont progressivement et définitivement mises en place, avec parfois des périodes un peu plus favorables, comme du septième au douzième siècle, mais jamais au point de permettre la vie des animaux aquatiques et des mammifères terrestres qui occupent aujourd'hui les zones sahélo-soudaniennes.

Cadre climatique actuel et paléoclimats holocènes

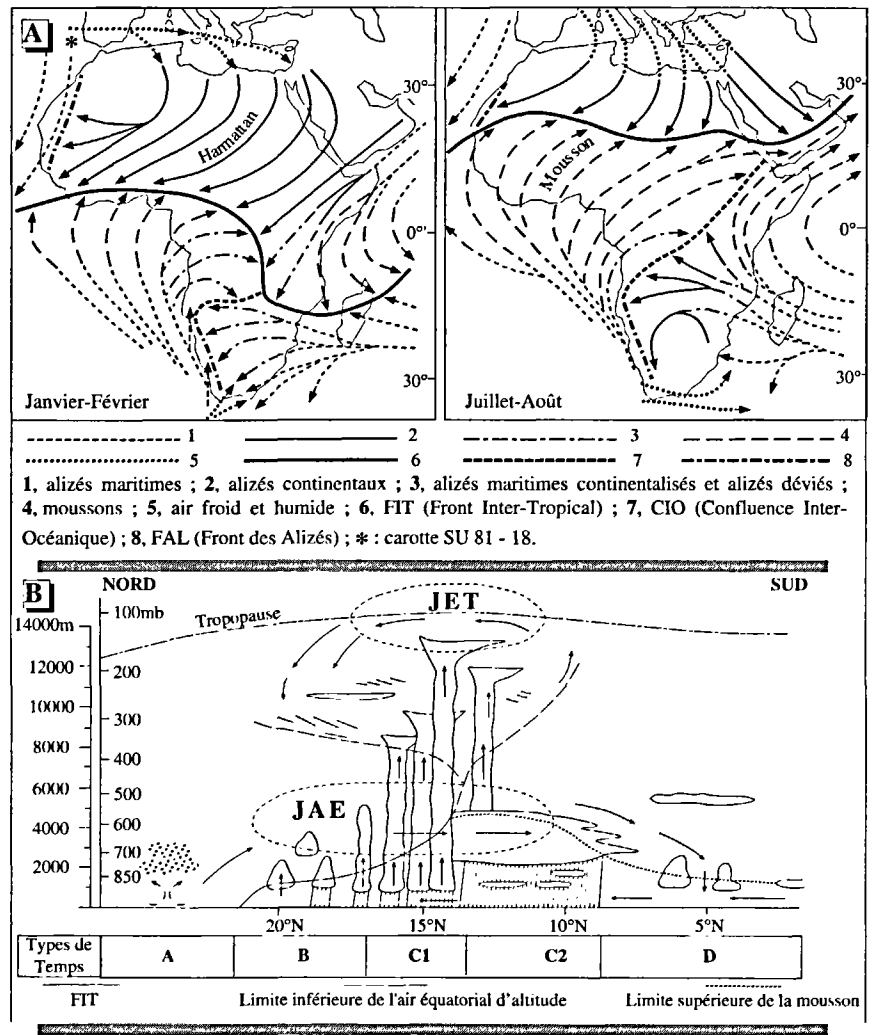
Le climat actuel

La zone étudiée appartient au Sahel, région qui constitue la bordure méridionale du Sahara (littéralement le rivage). Le Sahel est caractérisé par une pluviométrie annuelle comprise entre 100 et 400 mm (fig. 3A), répartie sur 1 à 3 mois avec un maximum en août (Leroux, 1980).

FIGURE 4 : Les différents types de vents et de pluies sur l'Afrique

A : vents et discontinuités sur l'Afrique, d'après Leroux (1975). Le FIT, qui constitue la trace au sol de l'équateur météorologique, est accompagné par les précipitations les plus intenses. La CIO marque la limite des influences de l'Atlantique et de l'Océan Indien. Elle peut être le siège de précipitations lorsque les deux masses d'air confluentes sont humides. Les FAL peuvent être parfois le siège de faibles précipitations.

B : schéma de la circulation dans la troposphère en août au-dessus de l'Afrique vers le méridien 0°, d'après Dettwiller (1965) et Janicot et Fontaine (1993). A, lithométéores ; B, orages isolés ; C1, lignes de grains ; C2, pluies continues modérées à fortes ; D, pluies faibles ou bruines. Les flèches schématisent les flux et en particulier les mouvements de convection et de subsidence. Ainsi, l'aérojet africain d'Est (JAE) induit une subsidence forcée au Sud de son axe, ce qui correspond à la zone D qui ne connaît que des pluies réduites. Par contre, il provoque de la convection sur la zone C1. Cette action est relayée en altitude par l'aérojet tropical d'Est (JET).



Compte-tenu d'une température moyenne qui varie d'environ 20° C en janvier à 35°C en juillet, il pourrait s'y évaporer, du Sud au Nord, de 7 à 24 fois plus d'eau qu'il n'en reçoit (Riou, 1975). Il s'agit donc d'une zone structurellement aride.

La faiblesse de la pluviométrie est accentuée par son irrégularité spatiale. Les averses sont très localisées car pour plus de 80% elles sont associées aux lignes de grains (fig. 4B.C1) dont le déplacement est aléatoire. Deux stations distantes de quelques kilomètres peuvent enregistrer une différence de plus de 100 mm sur l'année. Outre les faibles quantités précipitées, le Sahel est caractérisé par l'irrégularité de la pluviométrie dans le temps. Une année sur trois s'éloigne de 30 à 50% de la moyenne interannuelle, et même pendant une année globalement « normale » sur l'ensemble du Sahel, 40 à 50% des stations reçoivent des pluies inférieures à la moyenne (Nicholson, 1982).

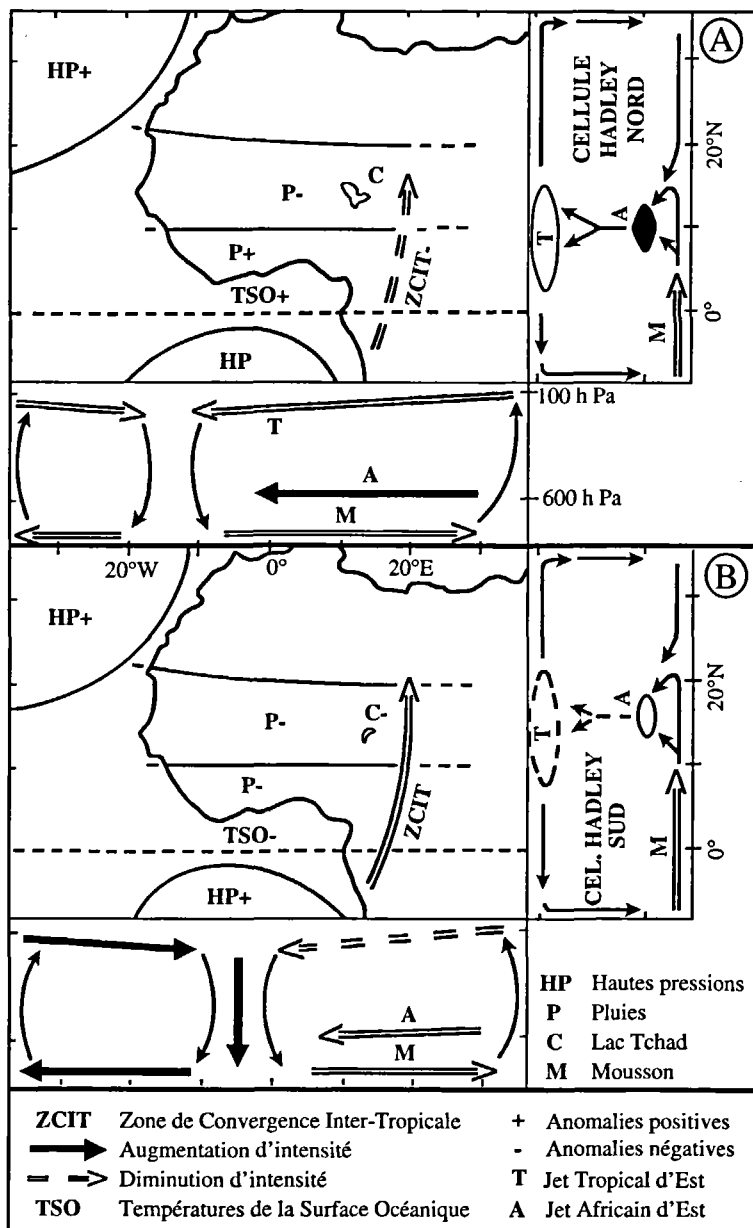
Les années « anormales », plus humides ou plus sèches que la moyenne, peuvent persister pendant une ou deux décennies. Ainsi, les années 1950 ont été marquées par des pluies constamment favorables, alors que la sécheresse sévit avec plus ou moins d'intensité depuis 1968 (fig. 3B ; Ozer et Erpicum, 1995). De telles sécheresses sont survenues à plusieurs reprises en Afrique de l'Ouest au cours des derniers siècles, notamment vers 1680-1690, 1730-1750 et 1820-1840 (Nicholson, 1982). Ainsi, à l'aridité structurelle du Sahel s'ajoutent des sécheresses conjoncturelles de durées variables (annuelles à pluriannuelles).

Hypothèses sur les mécanismes des variations du climat

Depuis Chudeau (1921), de nombreux auteurs ont proposé d'expliquer les variations climatiques en Afrique nord-équatoriale essentiellement par des changements dans le balancement saisonnier de la zone de convergence inter-tropicale (*in* Durand, 1995). La trace au sol de cette ZCIT constitue le front inter-tropical (FIT), qui peut être assimilé à l'équateur météorologique (fig. 4A.6). Très schématiquement, le mécanisme des changements climatiques serait fonction de l'importance du gradient thermique méridien et du déséquilibre entre les deux hémisphères. Ainsi, lors du dernier maximum glaciaire, vers 18,000 BP, le gradient thermique aurait été à son maximum en raison de l'extension de

FIGURE 5 : Situations météo-océanographiques définissant deux types de sécheresse en Afrique de l'Ouest d'après Janicot (1990), Janicot et Fontaine (1993) et Durand (1995)

- A : Sécheresse sur le Sahel et augmentation des pluies sur la zone soudano-guinéenne. Le renforcement de l'aérojet africain d'Est fait obstacle à la mousson.
- B : Sécheresse sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, soumise à une circulation subsidente.



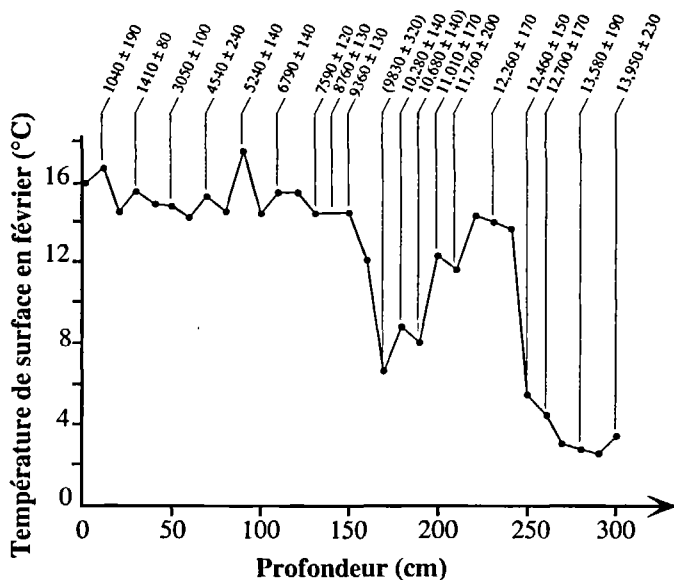
la banquise et des inlandsis dans l'hémisphère nord. La ZCIT serait restée bloquée la plus grande partie de l'année dans l'hémisphère sud. Inversement, avec un gradient thermique minimum, comme vers 6000 BP, le balancement saisonnier aurait été maximum et la ZCIT serait remontée régulièrement sur le Sahara.

Plus récemment, l'étude des variations des dernières décennies a montré le rôle primordial de l'océan et l'existence de deux types de sécheresse en Afrique de l'Ouest (Janicot, 1990 ; Janicot et Fontaine, 1993). Ainsi, lorsque la température de surface augmente dans l'Atlantique équatorial et tropical sud, mais diminue dans l'Atlantique nord, la pression au niveau de la mer augmente au Nord et diminue au Sud. En conséquence, les alizés de l'hémisphère nord sont intensifiés pendant que ceux du Sud subissent une relaxation. La remontée estivale de la ZCIT (fig. 4A) et donc de la mousson est alors retardée ou bloquée (fig. 5A). C'est là le mécanisme de modification de la circulation atmosphérique méridienne régulièrement avancé depuis Chudeau (1921). Mais, entrent en jeu également des modifications de la circulation atmosphérique zonale (parallèle à l'équateur) à laquelle participent les aérojets d'Est en altitude (JAE et JET, fig. 4B). Ainsi, l'aérojet africain d'Est, situé dans les basses couches, connaît alors une migration estivale vers le Nord moins marquée, tandis que son intensité, liée au gradient thermique méridien, augmente. Ceci cisaille les circulations ascendantes et empêche la formation de nuages. La sécheresse s'installe sur le Sahel, au Nord de 10°N environ (fig. 5A). Par contre, le potentiel en vapeur d'eau apportée par la mousson étant proche de la normale, les pluies sont normales, voire excédentaires, plus au Sud.

Un second type de sécheresse se produit lorsque survient une anomalie de température négative dans le Golfe de Guinée et des anomalies positives du champ de pression sur tout l'Atlantique (fig. 5B). Il y a un renforcement de l'anticyclone des Açores comme de celui de Sainte-Hélène. La remontée estivale de la ZCIT est supérieure à la normale, et la position et l'intensité de l'aérojet africain d'Est sont proches de la normale. Mais les augmentations de pression sur tout l'Atlantique repoussent la circulation zonale vers l'Est et l'intensité de l'aérojet tropical d'Est, situé au niveau de la tropopause (fig. 4B), décroît sur toute l'Afrique de l'Ouest qui est soumise à une circulation subsidente (fig. 5B). En conséquence il y a une relaxation de la circulation méridienne et donc de l'apport d'air humide : les pluies diminuent sur toute l'Afrique de l'Ouest.

Figure 6 : Variations de la température de surface
dans l'Atlantique nord près du Portugal,
d'après Bard *et al.* (1987)

Localisation de la carotte SU 81-18 : fig.4.A. La date du minimum de température à la fin du Younger Dryas (6°C environ) a été recalculée par un ajustement polynomial (Durand, 1995).



Essai de chronologie climatique de l'Azawagh depuis 10,000 ans

Dans les deux cas de sécheresse on constate qu'un refroidissement de la surface de l'Atlantique nord aboutit toujours à une sécheresse au Sahel. Ce mécanisme a été vérifié au Tardiglaciaire (*ca* 13,000-10,000 BP) dans le bassin du Tchad, où les mares interdunaires sahéniennes enregistrent les variations de la pluviométrie locale. La température de surface enregistrée dans une carotte près du Portugal (SU 81-18, fig. 4A et fig. 6 ; Bard *et al.*, 1987) a servi de référence. Ainsi, les périodes de refroidissement de l'Older Dryas (*ca* 12,000-11,800 BP), de la première partie du Younger Dryas (*ca* 11,200-10,700 BP) et du maximum froid de la fin du Younger Dryas (*ca* 10,300-9800 BP), correspondent bien à des fluctuations hydro-climatiques négatives au Sahel central (Gasse *et al.*, 1990 ; Durand, 1995).

Comme pour les variations de la température de surface de l'Atlantique nord observées depuis le début du siècle (Newell et Hsiung, 1987), on peut expliquer celles du Tardiglaciaire par des modifications dans la formation des eaux profondes de l'Atlantique (Broecker *et al.*, 1985 et 1989 ; Street-Perrott et Perrott, 1990 ; Durand, 1995).

Il est donc tentant de supposer l'existence de sécheresses liées à ces mêmes mécanismes à d'autres périodes. Sans préjuger des résultats d'une étude ultérieure plus détaillée, on peut déjà noter de bonnes convergences pour les événements majeurs. Par exemple, au Sahara malien, comme dans le bassin du Tchad, des mares apparaissent dès *ca* 9600 BP, marquant le début d'une période très humide qui se terminera après *ca* 6700 BP (Hillaire-Marcel *et al.*, 1983 ; Durand, 1995). Plus précisément, la phase aride est datée entre *ca* 6400 et 6000 BP au Niger (Téhet *et al.*, 1990) et entre *ca* 6700 et 5600 BP au Mali (Petit-Maire et Zhengtang Guo, 1996). Ceci est compatible avec le refroidissement observé dans l'Atlantique nord après 6790 ± 140 BP (Bard *et al.*, 1987 ; fig. 6).

L'échantillonnage des carottes marines ne permet pas de mettre en évidence des variations de quelques siècles seulement, ou même moins, qui existent pourtant (Fabre et Petit-Maire, 1988 ; Durand, 1995). Néanmoins, la courbe d'évolution de la température de surface de l'Atlantique nord pourrait servir d'indice indirect de l'évolution de la pluviométrie au Sahel. Elle fournit ainsi un cadre stratigraphique et paléoenvironnemental à la succession des implantations humaines dans l'Azawagh, ce que la situation des sites, le plus souvent en surface, permet difficilement de définir.

Données archéologiques

L'intérêt de l'Azawagh, sur le plan archéologique, est révélé dès 1933 par la publication du Capitaine Le Rumeur sur des découvertes de sites néolithiques importants, faites au cours de patrouilles méharistes. Les régions de Mentès, de Tamaya Mellet et de Taferjit (fig. 2) sont plus particulièrement citées pour leurs vestiges de grande faune, une industrie lithique abondante et surtout la présence de harpons en os. Les collections, ramenées au Musée de l'Homme, sont étudiées par Kelley (1934). Selon lui, les industries néolithiques correspondent à deux faciès, l'un ancien avec des harpons en os, l'autre plus récent, avec des armatures

finement ciselées. En 1936, puis 1950, Lhote vient dans la région de Tamaya Mellet-Taferjit et ramène plusieurs squelettes, étudiés par la suite par Chamla (1968) qui les attribue à une population négroïde, de type soudanais archaïque. Un prélèvement de restes de grande faune effectué sur le site de Tamaya Mellet par Lhote lors d'une nouvelle mission (1970) est daté par le radiocarbone de 9350 ± 150 BP (GIF 1728, Delibrias *et al.*, 1974).

Cet âge, très ancien pour un site d'époque néolithique, est immédiatement discuté. Camps (1974) rattache plutôt ce gisement au Néolithique récent, contemporain du site un peu plus méridional de Taferjit, daté indirectement de 4080 ± 110 BP (GIF 1727, Delibrias *et al.*, 1974) grâce à des coquilles de mollusques. La nature même du matériau daté à Tamaya Mellet, des os de faune sauvage, autorisait toutes les réticences. A cette époque pourtant, des âges presque aussi anciens ⁽³⁾ sont connus au Hoggar (Camps, 1969 ; Maître, 1971). L'idée que le Sahara ait pu être un centre autonome de néolithisation commence à s'imposer lorsque Roset découvre dans l'Aïr quatre sites qu'il considère comme néolithiques, un en montagne (Tagalagal), les trois autres en bordure de mares (Temet, Tin Ouafadene et Adrar Bous 10), dont les âges s'étalent de 9550 à 9000 BP (Roset, 1987). De même, dans le massif de Termit, en bordure du Ténéré, Quéchon (1995) a obtenu des résultats comparables.

Le concept de néolithisation implique la maîtrise progressive par l'homme de son milieu et surtout la capacité de produire son alimentation. Ainsi, l'homme devient mieux armé face aux changements climatiques, en étant moins tributaire des modifications de la faune ou de la flore. Cette évolution se traduit bien sûr par des modifications dans la culture matérielle, avec notamment l'invention des récipients en terre cuite et la généralisation du matériel de broyage, des outils polis et des instruments propres à la culture et à la récolte des plantes domestiquées. Des travaux récents menés par des généticiens (Marchais et Tostain, 1989) montrent que le mil sauvage est probablement originaire d'une zone limite, entre le sahel et le désert, et que sa domestication doit dater de la première phase lacustre de l'Holocène (9500-7000 BP). Le mil est une plante qui pousse en climat relativement sec, sur sol bien drainé, et

(3) 8475 \pm 100 BP (UW96), 8900 \pm 230 BP (Mc 740) et 9210 \pm 115 BP (UW97) pour le site Launey, 8670 \pm 150 BP (Mc 212) pour Amekni.

les conditions idéales étaient réunies au début et à la fin de cet épisode humide. Il était donc intéressant d'aller voir si l'Azawagh, région particulièrement privilégiée, a aussi été, comme le Hoggar et l'Aïr oriental, un centre précoce de néolithisation.

Problèmes chronologiques

L'Azawagh est caractérisé par de très nombreux sites de surface où l'absence de contexte stratigraphique rend toute étude chronologique délicate. L'âge, ou du moins l'époque d'un gisement, peut être évalué par le matériel archéologique, l'industrie lithique ou le style céramique, mais les indications ainsi apportées donnent des fourchettes très larges. Pour l'Azawagh, dans l'état actuel des connaissances, l'évolution des décors et des formes du matériel céramique ne nous permet d'identifier que deux grands épisodes, l'un antérieur à 5000 BP, l'autre postérieur à cette date (Durand et Paris, 1986 ; Paris *et al.*, 1993). Au Néolithique final cependant, entre 4000 et 3300 BP, la richesse du matériel céramique et l'homogénéité de certains sites ont permis d'identifier des styles régionaux dans la région proche de l'Ighazer wan Agades (Paris, 1996). Il en est de même pour l'industrie lithique, où, par exemple, la pointe d'Ounan est considérée comme un indicateur d'ancienneté, et certains grattoirs comme marqueurs d'époques plus récentes. Mais ces éléments de diagnostic se retrouvent souvent confondus en un seul dépôt – par déflation éolienne – et ne permettent pas de distinguer d'évolution dans l'occupation des grands sites de surface. Pour caractériser les différentes évolutions de la culture matérielle, il faut donc trouver des sites de petite taille, qui ont plus de chance d'être homogènes que les très grands sites comme Tamaya Mellet. Pour en établir la chronologie, il faut pouvoir dater des vestiges qui sont, de façon incontestable, le produit d'une présence ou d'une activité humaine. Le choix de la méthode de datation est en fait limité au radiocarbone.

Problèmes méthodologiques

Le but de ces missions exploratoires étant d'abord de caractériser des sites d'occupation par rapport à l'ensemble de l'environnement, nous ne pouvions pas envisager de mener des fouilles archéologiques classiques.

Nous n'en avons pas le temps et surtout nous n'aurions pas pu transporter le matériel recueilli. En outre, cela nous aurait obligé à privilégier un ou deux sites, mais sur quels critères ? Les fouilles proprement dites, exigeant des moyens particuliers, ne viendront qu'ensuite. L'objectif était donc de définir les sites par leur âge, lié à un contexte climatique, par leur culture matérielle et par leur économie de subsistance liée à la faune identifiée dans les déchets de cuisine. Seules quelques sépultures, en pleine terre ou sous monuments funéraires, ont pu être étudiées, car il s'agissait d'unités restreintes dont la fouille pouvait être menée dans des délais de temps maîtrisables. Pour des raisons de transport, les collectes d'objets et les échantillonnages ont été réduits à l'indispensable. Le ramassage des outils et des tessons de céramiques a été effectué sur des critères avant tout qualitatifs, afin de pouvoir comparer les types d'un site à l'autre. Ces ramassages ont été sciemment limités au minimum, afin de ne pas trop perturber l'organisation du gisement et ne pas compromettre des fouilles ultérieures.

Caractériser des sites sur certains critères issus de ramassages sélectifs paraît à première vue peu rigoureux et confirmer obligatoirement le diagnostic *a priori* de l'archéologue. En effet, on peut reprocher à cette méthode de ne collecter que ce que l'on recherche. On ne peut toutefois inventer ce qui n'existe pas. Le vrai problème est le degré de pertinence des critères choisis, par exemple :

- les pointes d'Ounan, les microlithes, les harpons en os sont-ils effectivement des artefacts plus fréquents aux périodes anciennes et qui disparaissent lors des faciès plus récents du Néolithique ?
- les armatures sont-elles plus fréquentes dans les périodes classiques et les grattoirs dans les périodes tardives ?
- la présence de matériel de broyage implique-t-elle une activité agricole ?
- les décors des céramiques et les dégraissants traduisent-ils une évolution qui permettrait de définir des styles ou des techniques selon les périodes, alors que l'ensemble des formes et décors semble déjà constitué vers 9500 BP (Roset, 1987) ?
- la connaissance de la faune à travers les habitudes alimentaires est-elle un indicateur valable de l'environnement ?

Nous avons choisi ces critères, généralement acceptés par la plupart des spécialistes, mais ne risquons-nous pas ainsi de perpétuer des poncifs et passer à côté des spécificités régionales ? Le risque est grand, et nous devons en tenir compte dans nos conclusions.

Chronologie et méthode de datation par le Carbone 14

Choix de la méthode et de l'échantillonnage

L'absence d'archives historiques et de typologies de référence pour le matériel archéologique (lithique, céramique) récolté dans l'Azawagh ont rendu nécessaire le recours aux méthodes physico-chimiques pour établir la chronologie des sites d'occupation humaine. Pour l'Holocène, les deux principales méthodes utilisables sont le carbone 14 et la thermoluminescence. Tous les sites prospectés étant des gisements de surface d'accès très difficile et soumis à une forte déflation éolienne, nous avons choisi la première (Libby, 1952). Cependant, nous nous sommes trouvés confrontés à des difficultés inconnues en zone tempérée. En effet, en Europe la majorité des sites antérieurs aux temps historiques a été datée grâce aux charbons ou au collagène des ossements associés, qui sont les deux meilleurs matériaux du point de vue de la théorie du carbone 14. Mais, en Afrique subsaharienne et saharienne, si les sites de surface sont souvent peu perturbés et gardent l'essentiel de leur configuration d'origine, ils sont, ou ont été dans le passé, soumis à une importante déflation éolienne. Aussi, les légères particules charbonneuses liées aux activités humaines ont été dispersées depuis longtemps par le vent ou soumises à de multiples remaniements. Par ailleurs, le collagène disparaissant très rapidement en zone tropicale, il faut entièrement repenser la stratégie de

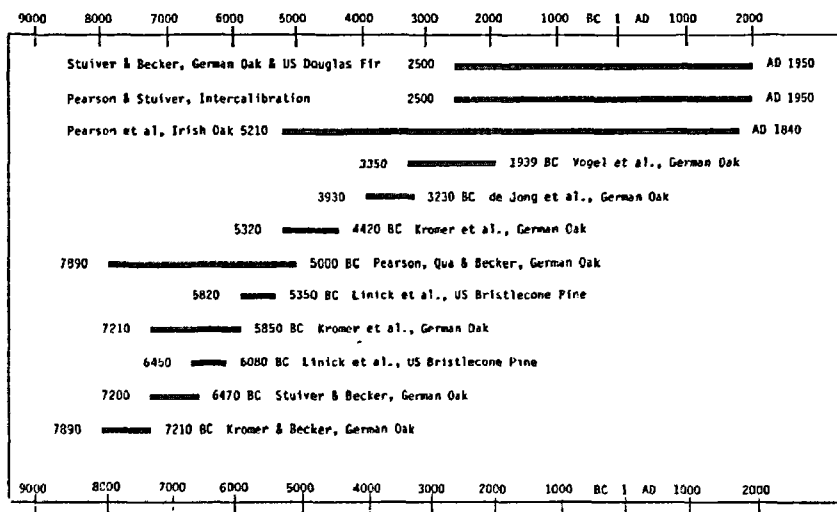


FIGURE 7 : Compilation des principales séquences dendrochronologiques ayant servi pour les corrélations de grande précision âges ^{14}C versus âges dendrochronologiques (in van der Plicht et Mook, 1989)

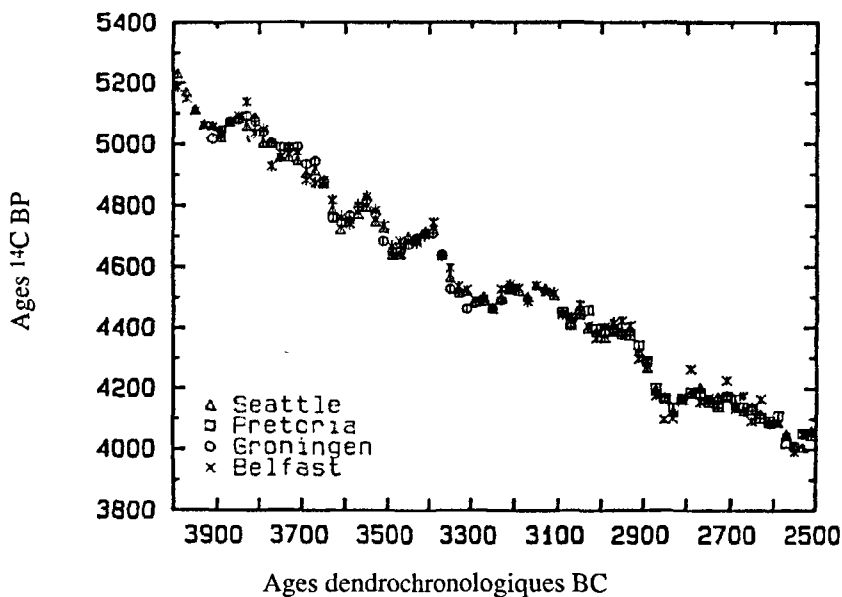


FIGURE 8 : Comparaison des âges ^{14}C des anneaux de croissance déterminés par les quatre grands laboratoires spécialisés (in Stuiver et Pearson, 1993b)

l'échantillonnage et l'adapter aux matériaux présents sur les sites. Dans l'Azawagh, les sites sont souvent riches en ossements animaux et humains plus ou moins carbonatés mais dépourvus de collagène, ainsi qu'en céramiques à dégraissant végétal et en coquilles (résidus de cuisine ou parures). Ces matériaux ne respectant pas parfaitement les principes de base de la méthode du carbone 14, pouvions-nous, en l'absence de tout autre choix, utiliser ceux-ci pour dater nos sites et avec quel degré de fiabilité ?

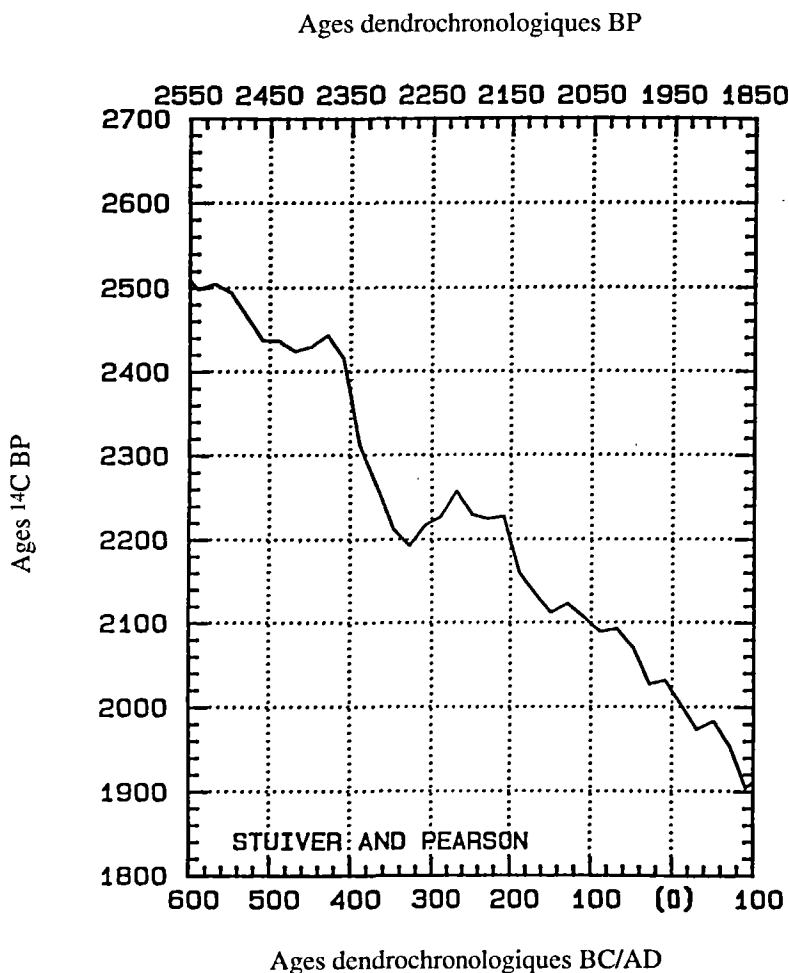
Datation ^{14}C et calibration

Le recours aux méthodes physico-chimiques s'accompagne d'un changement de vocabulaire, le mot datation utilisé par les géochimistes se substituant à celui de chronologie des archéologues. Il est mieux adapté à la démarche du géochimiste car il suggère clairement l'espoir d'approcher au plus près l'âge du matériau analysé. Cependant, aucune de ces méthodes physico-chimiques, dépendantes d'hypothèses trop simples pour prendre en compte la totalité des phénomènes mis en jeu, ne peut prétendre obtenir des datations absolues. Il est bien connu que les dates ^{14}C présentent une dérive importante par rapport aux âges réels ; elles sont systématiquement rajeunies à partir de 2000 BP. *A contrario*, la dendrochronologie s'affirme comme une méthode de mesure du temps proche de la datation absolue (Douglass, 1935 ; Huber et Giertz-Siebenlist, 1969 ; Ferguson, 1986), mais elle ne peut s'appliquer qu'à des bois soigneusement sélectionnés (fig. 7). De plus, elle est limitée aux onze derniers millénaires (Becker et Kromer, 1993) et elle est inutilisable en Afrique tropicale. Néanmoins, la dendrochronologie ouvre la voie à des datations ^{14}C corrigées.

Cet important travail analytique de corrélation (fig. 8) a été accompli ces dernières décennies par les laboratoires spécialisés (de Vries, 1958 et 1959 ; Damon *et al.*, 1978 ; Klein *et al.*, 1982 ; Stuiver et Kra, 1986). Il trouve son aboutissement final sous forme de tables (Stuiver et Pearson 1986 ; Pearson et Stuiver 1986) et de logiciels (Stuiver et Raimer, 1986 et 1993 ; van der Plicht et Mook, 1989) fournissant des âges ^{14}C calibrés, c'est-à-dire des mesures du temps pouvant être confrontées directement aux âges historiques (fig. 9). En ce qui concerne l'Holocène, les tables et les logiciels de corrélations sont pratiquement définitifs. Pour prolonger

FIGURE 9 : Précision de la calibration des âges ^{14}C
(in Stuiver et Pearson, 1993a).

Les courbes de corrélation, âges ^{14}C *versus* âges dendrochronologiques, ne sont pas régulières dans le temps. Les fluctuations du taux de production du ^{14}C dans la stratosphère qui sont modulées par le champ magnétique terrestre et le vent solaire en sont la cause essentielle. Cela entraîne une imprécision importante et variable des âges calibrés. A titre d'exemple à un âge de 2400 ± 40 BP est associé un âge calibré compris entre 512-432 et 429-399 BC soit une fourchette d'incertitude globale de 113 ans, mais par contre avec un écart-type identique de ± 40 BP, à un âge de 2200 BP est associé un âge calibré compris entre 361-280 et 258-188 BC et la fourchette d'incertitude s'élargit à 173 ans.



les calibrations au-delà de 11,000 BP, Bard *et al.* (1990) proposent comme solution alternative l'étude des récifs coralliens. Les corrélations âges ^{14}C versus âges $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ déduites de ces coraux (*Acropora palmata* des Barbades), permettent d'esquisser jusqu'à 30,000 BP les calibrations des âges ^{14}C . Plus récemment, Laj *et al.* (1996), se basant sur la loi reliant l'intensité du champ magnétique terrestre et la production du carbone 14, ont étalonné les âges ^{14}C jusqu'aux limites de sa détection, soit 50,000 ans.

L'abandon des datations ^{14}C au profit de ces dates calibrées marque un progrès considérable, mais soulève des difficultés d'application qu'il faut souligner. Indépendamment de la dérive des âges ^{14}C que l'on peut maintenant corriger, beaucoup de matériaux sont datables sans être parfaitement en accord avec les hypothèses de base de Libby. A l'erreur statistique de comptage, s'ajoutent des incertitudes supplémentaires souvent difficiles à corriger. Pour ces raisons, les laboratoires se sont ralliés au vocabulaire des archéologues en parlant eux aussi de chronologie ^{14}C . L'utilisation généralisée des tables et des logiciels de calibration depuis quelques années – souvent hors du contrôle des laboratoires – bouleverse cette prudente approche. Il devient nécessaire de mettre en garde les archéologues contre toute utilisation sans discernement de ces calibrations. Mais cela oblige aussi les laboratoires à reposer avec une acuité nouvelle le problème – parfois escamoté – de la nature de l'échantillon daté. Celui-ci est-il parfaitement compatible avec la théorie du ^{14}C ? Si non, quel est son degré d'approximation ?

Système ouvert et système fermé

Pour expliciter notre démarche, rappelons que l'on peut schématiser la méthode de datation par le ^{14}C en définissant deux états, ouvert ou fermé, entre le CO_2 atmosphérique qui est le réservoir de ^{14}C , atome d'origine cosmogénique, et les autres réservoirs de carbone terrestre.

En système ouvert stationnaire, le dioxyde de carbone atmosphérique est assimilé par les êtres vivants (chaîne alimentaire *via* les plantes) et il est en équilibre isotopique avec le carbone total inorganique dissous (CTID) ⁽¹⁾ de l'hydrosphère. Si le système ouvert est parfait, le

(1) Carbone Total Inorganique Dissous : à l'interface eau-atmosphère se règlent les échanges entre le gaz carbonique CO_2 g et le gaz carbonique dissous dans l'eau CO_2 aq (aqueux). Dans la phase liquide, le CO_2 aqueux se dissocie sous trois formes : H_2CO_3 aq, HCO_3^- aq et CO_3^{2-} aq ; leurs proportions relatives dépendent du pH et de la température.

rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ initial est identique pour tous les matériaux susceptibles d'être datés – au faible fractionnement isotopique près qui est propre à chaque processus physico-chimique et que nous savons corriger. L'unique source en carbone des végétaux autotrophes terrestres, producteurs primaires, et des êtres vivants consommateurs hétérotrophes, étant le CO_2 atmosphérique, ceux-ci respectent le système ouvert et l'efficacité de la méthode a été démontrée à partir d'échantillons de bois. La première datation publiée a été effectuée sur un bois d'acacia (échantillon C-1, Libby, 1952) provenant de la pyramide à degrés de Djoser, Pharaon de la troisième dynastie égyptienne, à Sakkarah.

Le carbone total inorganique dissous (source des tests des mollusques, des stromatolithes, des stalagmites, etc.) a une composition complexe, résultante de carbonates et bicarbonates d'origines multiples. Lorsque l'équilibre isotopique entre CO_2 atmosphérique et CTID n'est pas atteint, ces systèmes nécessitent des corrections que l'on désigne sous le terme d'« effet réservoir », ou encore l'utilisation de modèles pour calculer leur activité initiale (*e.g.* eaux souterraines : Fontes, 1979).

La fermeture du système intervient à la mort des êtres vivants et à la fin de la cristallisation du minéral carbonaté ; en d'autres termes, lors de la rupture de communication avec le réservoir de ^{14}C . Cet instant marque le temps zéro à partir duquel la teneur en ^{14}C du matériau datable évolue selon la loi de la décroissance radioactive. Cependant, la fermeture du système est rarement parfaite. Les matériaux organiques peuvent être contaminés par du carbone exogène et, plus grave, les coquilles ou sédiments carbonatés peuvent alterner ouverture (dissolution) et fermeture (précipitation) du système, selon les changements du contexte physico-chimique au cours du temps. L'étude du système ouvert est donc fondamentale pour la méthode, puisqu'elle détermine l'activité ^{14}C initiale, c'est-à-dire le départ du chronomètre radiométrique.

Fractionnement $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ en système ouvert

La détermination directe de la teneur initiale en ^{14}C de chaque matériau en système ouvert est difficile, car les appareils de mesure ne sont pas assez sensibles ; celle-ci n'est mesurée au mieux qu'à ± 0.2 à 0.5% près, quel que soit le mode de comptage : SMA (spectromètre de masse couplé à un accélérateur tandem), compteur proportionnel ou scintillation liquide. De surcroît, elle est devenue impossible en raison de l'émission des flux de neutrons induits par les explosions thermonucléaires, principalement au cours des années 1958-1962, qui ont provoqué une augmentation considérable de la teneur en ^{14}C dans l'atmosphère (Nydal et Lovseth, 1983).

L'étude des différentes discriminations lors des processus d'assimilation – ou, dans le langage des géochimistes, des fractionnements isotopiques entre l'isotope rare du carbone de masse 14 et l'isotope abondant de masse 12 – et l'étude des états d'équilibre entre les différents réservoirs de carbone, sont menées indirectement, mais avec une grande sensibilité. On utilise les rapports des deux isotopes stables du carbone de masse 12 et 13, exprimés en unité de mesure δ (précision $\pm 0,02 \text{ ‰}$) (2). Une relation lie, quel que soit le processus physico-chimique mis en jeu, les facteurs de fractionnement $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ en système ouvert stationnaire ; elle nous permet de déduire les teneurs initiales en ^{14}C .

Craig (1954) se basant sur des modèles de structures internes des molécules (*e.g.* Richet *et al.*, 1977) estime que, dans le cas d'une substitution d'un atome de ^{13}C par un atome de ^{14}C , le facteur de fractionnement $\alpha^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ est égal à $(\alpha^{13}\text{C}/^{12}\text{C})^2$, soit un enrichissement relatif $\epsilon^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 2 \epsilon^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Cette relation a été vérifiée par Saliège et Fontes (1984) en partant des mêmes modèles théoriques mais avec des données expérimentales récentes des différentes combinaisons isotopiques du CO_2 . Ces auteurs calculent un coefficient d'enrichissement relatif théorique compris entre 2,05 et 2,2. Ils le vérifient expérimentalement en

(2) Abondance relative des trois isotopes du carbone : $^{12}\text{C} = 98.8 \%$, $^{13}\text{C} = 1.18 \%$ et $^{14}\text{C} = 1.1 \cdot 10^{-12}$.

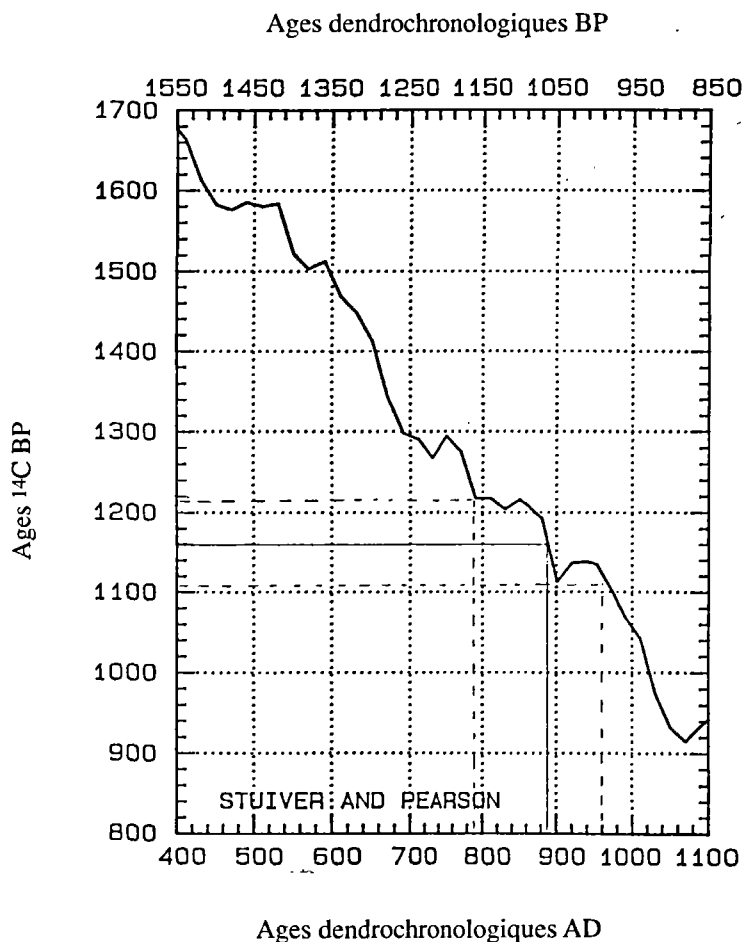
Il est d'usage d'exprimer les rapports isotopiques par le symbole $\delta = (R_e / R_s - 1) \cdot 1000$.

R_e = abondance isotope lourd / abondance isotope léger de l'échantillon ; R_s = abondance isotope lourd / abondance isotope léger du standard ; le standard est un carbonate marin P.D.B. Le facteur de fractionnement entre deux composants 1 et 2 est appelé α ($\alpha = R_1/R_2$) ; $\epsilon_{1-2} = (\alpha - 1) \cdot 1000$ est appelé facteur d'enrichissement.

FIGURE 10 : Exemple de limite de précision des datations

On peut admettre que la robe soit légèrement antérieure à l'âge de la défunte. Par contre, linceul et restes organiques et minéraux de l'os sont contemporains. L'âge moyen de ces quatre datations est 1160 BP, son écart-type σ est de ± 55 BP ($\pm \sigma/\sqrt{n}$) (1) pour un intervalle de confiance de 68 % (1σ). Si l'on considère maintenant, non plus l'écart-type de comptage de chaque datation, mais l'écart-type expérimental, l'incertitude sur l'âge moyen chute à ± 25 ans ($t \sigma'/\sqrt{n}$) pour un intervalle de confiance à 95 % (2σ). Ces résultats sont assez représentatifs de la précision des laboratoires lorsque le matériau daté est de bonne qualité.

(1) variance (σ^2) = $\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2$; t facteur de Student et n le nombre de mesures.



milieu naturel, en cultivant des plants d'*Heliotropium europaeum* (C3), de *Phaseolus vulgaris* (C3) et *Zea mays* (C4) sous atmosphère naturelle contrôlée. Le coefficient d'enrichissement relatif expérimental mesuré⁽³⁾ est de $2,3 \epsilon^{13C/12C} = \epsilon^{14C/12C}$.

Par convention internationale (Stuiver et Polach, 1977), les âges ^{14}C doivent être calculés en utilisant la période de demi-vie conventionnelle de 5568 ans et une normalisation des $\delta^{13}C$ égale à -25.0 ‰ basée sur la relation de Craig $2 \epsilon^{13C/12C} = \epsilon^{14C/12C}$ (Broecker et Olson, 1961 ; Olsson et Osadebe, 1974). Les tables et les logiciels de calibration ne sont utilisables avec précision qu'une fois ces conventions respectées.

Illustration de l'importance de la normalisation de l'activité initiale ^{14}C

Pour illustrer nos propos, nous présentons sur le tableau 1 la datation d'une tombe à cratère provenant de la nécropole d'Iwelen située dans l'Aïr oriental, où était inhumée une femme d'une cinquantaine d'années (sépulture 68 de type TAC, selon la nomenclature de Paris, 1995, 1996). L'état de conservation exceptionnel du corps nous a permis de dater la fraction organique (le collagène) et la fraction minérale (le carbonate-hydroxylapatite) du squelette, ses cheveux, ainsi que le linceul de cuir et la robe de la défunte. Au vu des analyses non normalisées (tab. 1), l'archéologue non averti en déduira la très bonne précision des datations sur le collagène, les cheveux et le linceul de cuir, l'écart maximal entre ces trois datations étant d'une trentaine d'années et l'âge moyen de 1000 BP. La datation du carbonate-hydroxylapatite est un peu plus jeune, mais on sait qu'il a la réputation d'être très sensible aux échanges avec le CTID de l'environnement. L'ombre au tableau est la datation de la robe de laine qui fournit un âge plus vieux de deux cents ans. Sur le plan archéologique, il est tout à fait acceptable, et même normal, que la robe ait un âge antérieur à la date de la mort de celle qui la porte, mais deux cents ans est un écart trop important.

(3) Le coefficient expérimental 2.3 modifierait les âges du tableau 1 d'une quinzaine d'années. Toutefois, par souci de normalisation, tous les laboratoires conservent le coefficient théorique 2. Cette incertitude sur la valeur exacte de ce dernier est une limite, difficile à surmonter, de la méthode.

Après normalisation (tab. 1 et fig. 10), on constate que les datations du collagène, du cuir, des cheveux et du carbonate-hydroxylapatite se décalent de cent cinquante ans, devenant ainsi compatible, aux marges d'erreurs près, à l'âge de la robe qui reste presque inchangé. L'importance historique de ce décalage n'est pas négligeable, la tombe de tradition païenne d'Iwelen devenant ainsi contemporaine des tombes musulmanes étudiées à Mammanet (Paris *et al.*, 1986).

TABLEAU 1 : Datations de la sépulture n° 68 d'Iwelen, sans et après normalisation du fractionnement $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ initial des différents matériaux en utilisant la relation $2 \varepsilon^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = \varepsilon^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$

| Nature du matériau daté | $\delta^{13}\text{C}_{\text{‰}}$ P.D.B | Age ^{14}C BP brut | Age ^{14}C BP normalisé | Age calibré AD 1 σ |
|---------------------------|---|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Cheveux | -15.5 | 995 \pm 60 | 1145 \pm 60 | 805-975 |
| Collagène | -14.5 | 990 \pm 90 | 1160 \pm 90 | 776-975 |
| Carbonate-hydroxylapatite | -8.6 | 910 \pm 80 | 1175 \pm 80 | 785-960 |
| Linceul en peau de bœuf | -16.3 | 1025 \pm 60 | 1165 \pm 60 | 785-960 |
| Tissu de laine | -23.9 | 1210 \pm 60 | 1220 \pm 60 | 690-886 |

En milieu continental, beaucoup de datations publiées jusqu'à ces dernières années ne sont pas corrigées du fractionnement initial (pour l'Afrique cf. Vernet et Aumassip, 1992). Les corrections apportées sont faibles en valeur absolue, de 0 (matière organique des régions tempérées) à environ 460 BP (calcites ou aragonites en équilibre avec le CO_2 atmosphérique), ce qui justifie que pendant longtemps beaucoup de laboratoires les ont négligées. Il n'est cependant plus possible pour les périodes historiques de ne pas tenir compte de ces corrections avant de calibrer les datations, surtout en zone tropicale en raison de l'importance de plantes à cycle photosynthétique spécifique.

Les cycles photosynthétiques de l'écosystème tropical

La composition isotopique en carbone d'un végétal dépend de celle de sa source, le CO_2 atmosphérique, et du fractionnement isotopique lié au

cycle photosynthétique qui l'affecte. On a pu diviser ainsi les végétaux terrestres en trois groupes : C3, C4 et CAM (Craig, 1954 ; Park et Epstein, 1961 ; Downton, 1971 ; Bender, 1971 ; Lerman, 1974). Pour le groupe dit en C3, le plus important puisqu'il comprend la grande majorité des plantes des régions tempérées et la totalité des plantes supérieures, le CO₂ atmosphérique est fixé au cours du cycle décrit par Calvin. Leur composition isotopique exprimée en unité δ se situe entre -22 et -30 ‰. Pour les plantes de type C4, la fixation initiale du carbone atmosphérique se fait selon un cycle différent décrit par Hatch et Slack (1966). Toutes les plantes C4 actuellement connues sont des herbacées, dont approximativement la moitié des espèces de graminées, la canne à sucre, le sorgho, le mil, le maïs, un quart des cyperacées, certaines chenopodiacées, etc. (Bender, 1968 ; Lerman et Raynal, 1972). Leur composition isotopique est comprise entre -10 et -15 ‰. Enfin, le troisième groupe de végétaux de type CAM, de $\delta^{13}\text{C}$ compris entre -15‰ et -35‰, joue un rôle minime ; il comprend essentiellement les plantes grasses et les broméliacées. Deines (1980) démontre que les différents organes de la plante (racines, anneaux de croissance, feuilles, graines) ont tous des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ identiques à l'exception des feuilles qui sont systématiquement appauvries de 1 à 2 ‰ (Leavitt et Long, 1982). Par contre, à une échelle plus fine les constituants biochimiques de la matière organique présentent des teneurs différentes en ^{13}C significatives (lipides, cellulose, lignine, sucres, etc. ; Benner *et al.*, 1987).

Si, dans le bilan du cycle du carbone terrestre l'influence des végétaux en C4 est insignifiante, elle n'est pas négligeable pour la méthode du carbone 14 appliquée en zone tropicale. La première conséquence de l'existence des plantes en C4 est de diversifier légèrement les activités initiales du couvert végétal et des réseaux trophiques. Mais, l'intérêt majeur de ces végétaux qui participent au cycle général du carbone (matière organique du sol, chaîne alimentaire), est de servir de traceur efficace de l'origine des différentes sources de matière organique : alternance du couvert forestier et de la savane (Schwartz *et al.*, 1986 ; Ambrose et Sikes, 1991), changement de régime alimentaire (van der Merve et Vogel, 1978 ; Ambrose et DeNiro 1986 ; Bocherens *et al.*, 1996), nature des dégraissants végétaux dans les céramiques (Saliège et Person, 1991a et b).

Datation des céramiques à dégraissant végétal

La datation, par la méthode du carbone 14, de la matière organique incluse dans une céramique pose de sérieuses difficultés (de Atley, 1980 ; Gabasio *et al.*, 1986 ; Hedges *et al.*, 1992 ; Delqué-Kolic, 1995). Saliège et Person (1991a et b) proposent une approche originale en tentant de caractériser le carbone organique des céramiques par ses isotopes stables. Cette méthodologie a été en partie mise au point grâce aux campagnes de prospection dans l'Azawagh ; elle est un bon exemple de l'utilisation des isotopes du carbone comme traceur d'origine.

Les constituants organiques d'une céramique

Le potier choisit un sédiment argileux pour ses qualités plastiques (source A : matière organique liée à l'argile). Pour éviter les fentes de retrait de l'argile lors de la cuisson, il ajoute un dégraissant minéral ou végétal (source B: petits végétaux fragmentés). Au cours de la montée en température, la distillation du combustible peut provoquer un enfumage fortuit ou intentionnel lié au mode de fabrication des céramiques : four, meule ou fosse (source C : carbone pyrolysé plus ou moins pur du bois de chauffage diffusant dans la pâte argileuse). Après les transformations chimiques dues au chauffage (en particulier une forte diminution de la teneur en carbone organique) afin de rendre étanche la céramique, ou améliorer son esthétique, l'artisan peut l'enduire d'une légère couche organique (source D : suc végétal). Ensuite, lors des manipulations domestiques, des dépôts d'origine alimentaire peuvent se déposer sur la face interne (source E : résidu organique de cuisine) ou externe lors de la cuisson des aliments (source F : résidu charbonneux). Enfin, lors de l'enfouissement archéologique les tessons peuvent être contaminés par les acides organiques du sol et les radicelles du couvert végétal (source G). Chaque constituant a une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ qui lui est propre (fig. 11). Nous pouvons établir le bilan suivant :

$$\delta^{13}\text{C}_i = \delta^{13}\text{C}_B m_B / m_T + \delta^{13}\text{C}_X m_X / m_T + \delta^{13}\text{C}_A m_A / m_T \dots\dots\dots [1]$$

poterie dégraissant dépôts de surface carbone lié à l'argile

i = A,B,C,D,E,F,G (somme de chaque constituant organique identifié) ; X= C,D,E,F (dépôts de surface) ;

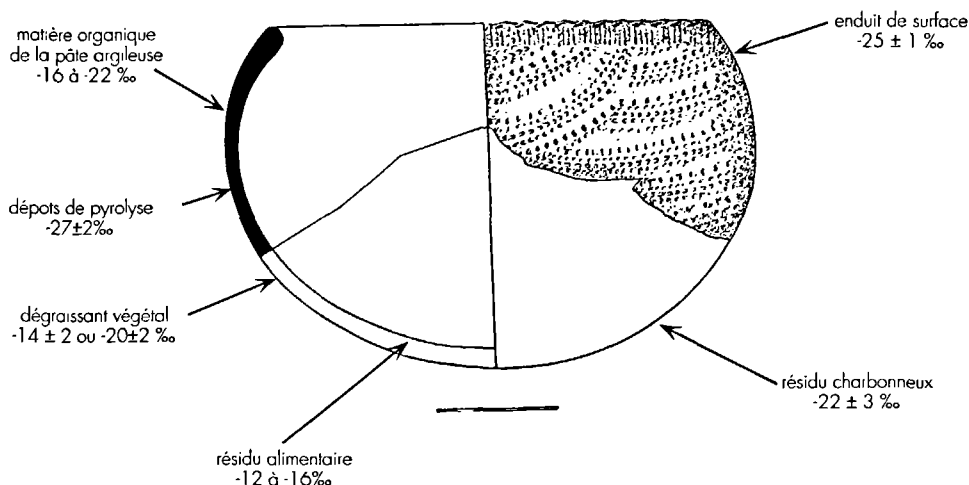
m_i/m_T = masse relative de chaque constituant organique par rapport à la masse totale T, avec $\sum m_i = 1$

et au temps t de la mise au jour :

$$\delta^{13}\text{C}_i = \delta^{13}\text{C}_B m_B / m_T + \delta^{13}\text{C}_X m_X / m_T + \delta^{13}\text{C}_A m_A / m_T + \sum \delta^{13}\text{C}_G m_G / m_T \dots\dots\dots [2]$$

poterie dégraissant dépôts de surface carbone lié à l'argile pollution

FIGURE 11 : Constituants organiques et $\delta^{13}\text{C}$ associés des céramiques



La matière première : constituant A

Nous pouvons admettre comme hypothèse vraisemblable l'utilisation par les potiers néolithiques des couches argileuses affleurantes. Certes, on peut envisager une prise d'argile en position stratigraphique, dans des coupes naturelles, mais ce cas de figure nous semble exceptionnel. La fabrication des poteries impose quelques contraintes techniques, en particulier la proximité d'eau et de combustible, et il est fort probable que la plupart des ateliers étaient situés en bordure de lacs, mares ou autres points d'eau. Dans ces lieux, les sédiments superficiels argileux sont souvent riches en matière organique (arbres et végétation de berges, déjections animales, etc.) qui se renouvelle rapidement. Elle subit un brassage continu rythmé par la succession des saisons sèches et pluvieuses, ce qui entraîne une homogénéisation des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$. Une étude inédite de Cheverry et Fontes menée sur les polders du lac Tchad (*in* Muller, 1977), démontre cette homogénéisation des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$, que ces

TABLEAU 2 : Teneur en carbone, $\delta^{13}\text{C}$ et activité ^{14}C de la matière organique,
A : milieux de bordure de fleuve ou de mare en eau ;
B : poteries à dégraissant minéral

| A : milieux aquatiques | | | | |
|--|------|---------------------------------|----------------------|------------------------|
| Lieu du prélèvement | C% | $\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$ | Ar $^{14}\text{C}\%$ | Age ^{14}C BP |
| Lac Tagadji, Delta intérieur du Niger | 0.35 | -19.5 | 126.0 | ---- |
| Berge du Niger, Niamey I | 0.35 | -19.6 | 97.5 | 200 \pm 80 |
| Mare sèche, région de Niamey | 0.55 | -17.9 | ---- | ---- |
| Mare eau pérenne, région de Niamey | 0.60 | -22.4 | ---- | ---- |
| Berge du Niger, région de Niamey II | 0.12 | -21.4 | ---- | ---- |
| Mare d'Aribinda, Burkina Faso | 0.35 | -19.0 | 98.0 | 160 \pm 80 |
| Berge du Niger, Bamako | 0.45 | -18.5 | ---- | ---- |
| Plaine sèche de l'Ighazer | 0,20 | -14,5 | ---- | ---- |
| Polders du lac Tchad (Muller, 1977) | ---- | -21.0 | ---- | ---- |
| Lac Tchad, -0.5m (Dupont et Delibrias, 1970) | ---- | ---- | ---- | 460 \pm 95 |
| Delta du Chari (Mathieu, 1978) | ---- | ---- | ---- | 515 \pm 80 |

| B : poteries à dégraissant minéral | | | |
|---|------|---------------------------------|------------------------|
| sites | C*% | $\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$ | Age ^{14}C BP |
| Azelik I | 0.03 | -17.5 | 560 \pm 40 |
| Azelik II | 0.11 | -17.3 | 590 \pm 80 |
| Azelik III | 0.03 | -17.6 | 400 \pm 40 |
| Bangu Beri I | 0.02 | -17.3 | 300 \pm 60 |
| Bangu Beri II | 0.15 | -18.2 | 360 \pm 40 |
| Mentes 6 | 0.30 | -22.0 | 4610 \pm 180 |
| Mentes 7 | 0.20 | -18.5 | 4080 \pm 250 |
| Mentes 13 | 0.30 | -19.4 | 4590 \pm 130 |

* : pourcentage de carbone après cuisson.

Ar $^{14}\text{C}\%$: activité ^{14}C par rapport à l'année 1950, temps zéro de la méthode du carbone 14.

auteurs situent autour de -21 ‰. Nous avons procédé également à des prélèvements d'argile sur les bords de mares ainsi que sur les rives du fleuve Niger, afin de déterminer les teneurs en ^{13}C et ^{14}C . L'ensemble des données répertoriées (tab. 2) nous indique dans la bande sahélienne, du Mali au Tchad, des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de la matière organique de bordure de lac ou de fleuve comprises entre -17 et -23 ‰.

Par ailleurs, au cours de nos prospections nous avons constitué un herbier des plantes les plus représentatives du couvert végétal de l'Azawagh. Les conditions climatiques actuelles de l'Azawagh étant arides, les plantes semi-aquatiques et aquatiques sont inexistantes et nous avons complété notre collecte sur les bords du Niger à 800 km plus au Sud (tab. 3).

TABLEAU 3 : $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ vs P.D.B. de quelques espèces végétales sahéliennes

Plantes récoltées dans l'Azawagh

| | |
|------------------------------|--------|
| <i>Acacia raddiana</i> | -22.80 |
| <i>Boscia senegalensis</i> | -22.80 |
| <i>Grewia tenax</i> sp. | -22.60 |
| <i>Panicum turgidum</i> | -13.38 |
| <i>Pennisetum violaceum</i> | -13.77 |
| <i>Cenchrus biflorus</i> | -12.40 |
| <i>Tribulus longipetalus</i> | -14.50 |
| <i>Sorghum aethiopicum</i> | -12.65 |

Plantes hygrophiles des berges du fleuve Niger

| | |
|---|--------|
| <i>Nymphaea lotus</i> (<i>Nymphaeaceae</i>) sp. | -25.75 |
| <i>Oryza longistaminata</i> | -28.03 |
| <i>Nelsonia canescens</i> | -27.86 |
| <i>Echinochoa pyramidalis</i> | -15.36 |

La minéralisation de la matière organique dans les humus n'entraînant que peu de fractionnement (Meyers, 1994), les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de la matière organique dans les sédiments sont proches de celles du couvert végétal qui lui a donné naissance et elles permettent ainsi de déduire la proportion entre les biomasses C3 et C4 (Balesdent *et al.*, 1986). L'opposition entre zones humides et marécageuses, majoritairement peuplées de plantes C3, et la savane environnante, domaine des graminées C4, est bien marquée.

Ainsi, dans l'Azawagh à l'Holocène, aux bords des lacs, tant que les eaux sont pérennes les plantes en C3 vont dominer. Par contre, lorsque le climat s'aridifie les lacs réduits à de simples points d'eau épisodiques seront colonisés par les graminées. La matière organique des sédiments argileux conserve cette signature isotopique que l'on retrouve dans la pâte argileuse du potier. On peut ainsi envisager de considérer, avec beaucoup de prudence, les poteries à dégraissant minéral comme des enregistreurs des fluctuations du couvert végétal.

Le dégraissant végétal : constituant B

La seule contrainte technique imposée au potier est le choix de plantes de petites dimensions faciles à fractionner ou à réduire en petites brindilles. Cela exclut de la sélection envisageable par l'artisan, tous les arbres (C3) à l'exception des feuilles et de maigres arbustes. Par contre, deux grands groupes de végétaux (tab. 3) répondent à ce critère : la végétation des berges de fleuves ou de lacs en eaux pérennes (dominante C3) et la savane sèche à graminées (dominante C4). Quel était son choix ? Se contentait-il de faucher sans discernement quelques végétaux ? Sélectionnait-il quelques plantes spécifiques ? Choisisait-il en liaison avec d'autres activités villageoises : cueillette sélective de graminées sauvages ou cultivées pour l'alimentation, bouses animales, résidus alimentaires ?

Le choix des plantes envisageables est vaste, mais la réponse binaire du signal isotopique est suffisante pour explorer quelques pistes intéressantes. Ainsi, si le $\delta^{13}\text{C}$ des tessons (4) est compris entre -12 et -14 ‰

(4) Toutes les hypothèses envisagées dans ce paragraphe ne sont valables qu'à partir de séries statistiquement significatives de tessons (une dizaine).

nous pouvons envisager que le potier vivait dans un environnement où seule subsistait la végétation de savane à dominante C4. Nous pouvons aussi concevoir qu'il procédait à une cueillette sélective de graminées sauvages ou cultivées probablement liées à l'alimentation. Par contre, si le $\delta^{13}\text{C}$ est compris entre -16 et -22 ‰, on peut envisager soit une cueillette sur les berges de fleuves ou lacs, ce qui suppose des conditions climatiques plus favorables, soit l'incorporation de bouse animale qui intègre un mélange C3-C4. Nous verrons dans la conclusion de ce travail que ces valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ obtenues site par site nous permettent de proposer quelques scénarios plausibles.

Les dépôts de surface

- **Pyrolyse du combustible : enfumage.** La pyrolyse du bois de chauffage en milieu oxydant apporte peu de carbone en suspension dans l'air chaud de la meule ou de la fosse de cuisson. Par contre, en milieu réducteur elle produit abondamment goudrons et particules carbonées qui, non brûlés, se déposeront sur les parois des céramiques ($\delta^{13}\text{C}$: -25.0 ‰ à -28.0 ‰ ; source C). Des expériences en laboratoire (Saliège, inédit) montrent que les teneurs en ^{13}C de ces produits de pyrolyse sont appauvries de 1 à 2 ‰ par rapport au combustible. Ces minces couches de carbone augmentent l'étanchéité des céramiques. Elles sont d'un bel effet esthétique et sont probablement intentionnelles. On doit souligner que les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ couplées aux teneurs en carbone de ces dépôts, sont des indicateurs du mode de cuisson (fosse et milieu réducteur, meule et bonne oxygénation, etc.).

- **Les enduits et dépôts liés aux manipulations domestiques.** Les poteries peuvent être entièrement colorées sur les faces externes et internes, par projection d'une teinture imperméabilisante d'origine végétale sur la céramique encore chaude. Les écorces ou branches de plusieurs espèces, préparées en décoction ou macération, peuvent être utilisées. Par exemple, au Congo les potiers utilisent : *Syzygium rawlandii*, *Myrtaceae*, *Bridelia ferruginea*, *Euphorbiaceae*, *Tricoscypha sp.*, *Anacardiaceae* (Pinçon, com. pers.). Les mêmes pratiques existent au Burundi (Senasson, com. pers.). Ces enduits organiques issus de plantes supérieures en C3 ont tous des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ voisines de -25.0 ‰. Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des

résidus de cuisine déposés sur les parois internes lors des manipulations domestiques sont comprises entre -12 et 16 ‰ (cf. *infra* : Différences entre population agricoles et pastorales).

La pollution par les acides organiques du sol

Tous les sites étudiés proviennent de la bande subsaharienne et actuellement les tessons reposent sur un substrat sableux. Les concentrations en acides organiques (source G) sont très faibles dans les sols sableux, sans couvert végétal permanent (Badin, 1980). La mise en solution de ceux-ci lors des prétraitements des tessons soumis à la datation (extraction à la soude diluée), nous confirme que ceux-ci sont négligeables dans le bilan en carbone organique.

Étude des coupes des tessons

En parallèle à l'étude des différents constituants organiques et de leur teneur en ^{13}C , il est indispensable de les localiser. Par conséquent, on pratique des coupes ponctuelles dans les tessons. Cinq points de prélèvement sont effectués. Les deux premiers sur les surfaces externes et internes pour permettre d'estimer l'importance des enduits et des dépôts liés aux manipulations domestiques. Deux autres sont réalisés sous le premier millimètre des surfaces, interne et externe, et le dernier est réalisé au centre. Une fois exclues les couches de surface postérieures à la fabrication, les trois derniers prélèvements permettent de mesurer les gradients des teneurs en carbone de la surface jusqu'au cœur du tesson. La porosité de l'argile étant constante, ce gradient va dépendre de quatre facteurs : l'épaisseur de la poterie, la température, le temps de chauffage et l'oxygénation du système de cuisson. Sa connaissance va donc nous renseigner sur le mode de cuisson.

Sur soixante-dix sites étudiés nous avons pu diviser les poteries en trois classes. La première est composée des tessons où le carbone des surfaces externes et internes est pratiquement totalement consommé (teneur résiduelle moyenne de l'ordre de 0.01-0.03 %) et où la teneur en carbone au cœur du tesson est relativement forte (de l'ordre de 0.4 à 1.0 %). Nous appelons cette première classe O/C*/O. Ces poteries étaient cuites en

milieu très oxygéné, la température n'était pas très élevée (*e.g.* Gosselain, 1992). L'épaisseur de la poterie est le facteur déterminant de conservation du carbone au cœur du tesson. La seconde classe, que nous appelons O/C*/C comprend les poteries où la teneur en carbone présente une dissymétrie : faible à la surface externe (0.05-0.2 %), substantielle à cœur (0.6-1.0 %), forte à la surface interne. Notre interprétation est la suivante : les poteries sont disposées le col vers le bas, le combustible recouvrant l'ensemble. Le système est mal oxygéné (meule ou fosse ?) et l'absence de ventilation crée un micro-milieu réducteur à l'intérieur des poteries avec accumulation des particules carbonées liées à la pyrolyse du bois de chauffage. La troisième classe (C/C*/C) est représentée par les poteries où le gradient est peu prononcé de la surface (0.2-0.6%) au cœur (0.6-0.9 %), bien qu'incontestablement à dégraissant végétal. La cuisson devait s'effectuer à faible température avec des temps de chauffage probablement plus longs et dans un milieu réducteur (fosse ?).

Activité ^{14}C de chaque constituant organique

Chaque source de carbone identifiée a une activité initiale ^{14}C qui lui est propre. Nous estimons le temps d'utilisation d'une poterie usuelle, assimilé au temps zéro, tout au plus à une vingtaine d'années. Lors de son abandon, tout apport de carbone lié aux manipulations domestiques cesse. Cet instant marque la fermeture du système ouvert. Le bilan de l'activité ^{14}C de la matière organique s'écrit, de façon analogue à celui des $\delta^{13}\text{C}$, au temps zéro :

$$A_i = A_B m_B / m_T + A_X m_X / m_T + A_A m_A / m_T \dots\dots\dots [3]$$

poterie dégraissant dépôts de surface carbone lié à l'argile

$i = A, B, C, D, E, F, G$; $X = C, D, E, F$; m_i / m_T = masse relative de chaque constituant organique par rapport à la masse totale T

Le dégraissant végétal (B), la diffusion du carbone du combustible dans la pâte lors de la cuisson (C), les enduits de surface (D), les résidus de cuisine (E), les traces charbonneuses sur la face externe des poteries (F), satisfont tous au principe du système ouvert. Les petites différences de leur activité initiale sont seulement dues à leur fractionnement isotopique propre et nous pouvons les normaliser.

Si nous datons essentiellement le dégraissant végétal et/ou les dépôts de surface qui sont contemporains de la fabrication ou de l'utilisation de la céramique, leur datation peut être assimilée à l'âge de celle-ci. Il est évident que les céramiques à dégraissant végétal sont les plus favorables à la datation ^{14}C . Pour les céramiques à dégraissant minéral l'absence de végétaux incorporés intentionnellement rend la datation très difficile puisque la seule composante strictement contemporaine de sa fabrication est la couche de surface, si celle-ci est présente. Par contre, si la datation est effectuée essentiellement sur la matière organique de l'argile, cette dernière, bien que source de matière première du potier, n'a aucun lien direct avec l'âge de la céramique. Si elle provient des sédiments superficiels des mares ou des berges de lacs ou de fleuves, l'activité ^{14}C sera voisine de celle du CO_2 atmosphérique de l'époque sans cependant atteindre parfaitement cette valeur ; l'âge apparent de la matière organique pouvant fluctuer de zéro à cinq cents ans (tab. 2). Si nous envisageons une récolte d'argile en position stratigraphique, la matière organique fossile incluse aura une activité ^{14}C en général nulle ou très faible, rendant impossible la datation ^{14}C .

Les différents constituants organiques étant identifiés et leur activité initiale discutée, il est nécessaire d'estimer leur part relative. Le dépôt de surface est souvent parfaitement caractérisé par les isotopes stables du carbone (ce qui en fait un matériau de choix pour la datation par SMA). Par contre, il est négligeable dans le bilan quantitatif en carbone dans le tessou. En pratique, la possibilité de dater une céramique par la méthode du ^{14}C se joue sur le rapport dégraissant végétal/matière organique de l'argile. Plus celui-ci sera élevé, plus l'influence de la matière organique de l'argile sera faible et plus la datation ^{14}C sera fiable. Dans les tessous nous ne pouvons avoir accès qu'aux teneurs en carbone après cuisson et nous estimons en première approximation que les fines particules liées à l'argile brûlent presque aussi bien que les fractions grossières. En d'autres termes, nous estimons que les rapports dégraissant végétal/matière organique de l'argile, demeurent inchangés après la cuisson. Comment estimer ce rapport ?

Nous avons tenté d'évaluer le rapport entre le volume encore occupé par les restes végétaux non brûlés et celui laissé par les empreintes végétales afin d'estimer la teneur globale en carbone avant la cuisson. C'est une technique délicate, difficile à appliquer avec une bonne précision. La

clé du problème réside dans l'étude simultanée des poteries à dégraissant végétal et minéral, ou, à défaut, dans la recherche de fragments de tessons dépourvus de végétaux, sur un même site. Ils nous donneront les informations essentielles, à savoir la valeur du $\delta^{13}\text{C}$ de la matière organique de l'argile ainsi que sa teneur en carbone après cuisson. Ces données étant également mesurées sur le tesson à dégraissant végétal, leur rapport permet d'évaluer le pourcentage de carbone brûlé et les apports en végétaux dans la pâte.

Les datations des poteries à dégraissant végétal, croisées avec celles des charbons de bois associés, sont satisfaisantes (Saliège et Person, 1994). Cependant, ce matériau ne respecte pas parfaitement le système ouvert en raison de l'âge de la matière organique présente dans l'argile ; néanmoins l'incertitude est faible ; nous l'estimons comprise entre quelques années et un à deux siècles. Leur datation en fait donc un matériau très efficace lors d'une première approche chronologique. Couplée à une étude pétrographique et minéralogique, notre méthode permet par ailleurs de mieux appréhender les techniques de finition de la surface, ainsi que le mode de cuisson. Ces données, indépendantes de celles obtenues par l'étude des formes et des décors, se révèlent un outil efficace pour l'étude des céramiques en Afrique saharienne.

Datation des constructions en banco

La méthode que nous venons de décrire peut s'appliquer aux briques d'argile crue, matériau très peu étudié jusqu'à nos jours en Afrique. Celles-ci ont été et sont encore largement utilisées dans toute l'Afrique (Domian, 1989 ; Maas et Mommersterg, 1994). Cette argile travaillée est souvent très riche en fragments organiques grossiers ajoutés pour améliorer la consistance de la brique. Un simple tamisage permet d'éliminer la fraction fine liée à l'argile et d'isoler ainsi les végétaux incorporés qui sont contemporains de la fabrication de la brique. N'étant pas limités en quantité, nous pouvons raffiner la méthode en sélectionnant une seule espèce végétale, ce qui réduit encore le risque de confusion entre l'apport volontaire en végétaux et les matières organiques liées à l'argile. Nous avons testé avec succès la méthode en tamisant des écorces d'acacia, extraits d'une boule de banco provenant des ruines du palais des Sultans Jumeaux à Agades, que nous avons ensuite datées et comparées avec la tradition orale (Bernus et Cressier, 1991).

Les ossements

Historique et problèmes posés

Nous avons vu précédemment que les premières datations ^{14}C ont été réalisées sur des bois. Une fois la méthode testée avec succès, Libby et ses collaborateurs ont cherché à la généraliser à d'autres matériaux. Les archéologues étaient particulièrement intéressés par la datation des ossements humains, mais les premières séries de tests (Libby, 1952 ; de Vries et Barendsen, 1954 ; Ralph, 1959) ont montré que les ossements, bien que respectant la définition du système ouvert, étaient des matériaux difficiles à dater. La composition chimique de l'os est très sensible au contexte physico-chimique (pH, température, eaux, bactéries, concentration des substances chimiques du milieu), et la variabilité des teneurs en carbone minéral et organique est grande d'un os fossile à l'autre. Très rapidement la datation du carbone minéral total de l'os est abandonnée (Olson et Broecker, 1961) et les efforts des laboratoires se sont portés sur l'extraction du collagène qui constitue 90 % de la matière organique de l'os frais (Longin, 1971 ; Olsson *et al.*, 1974). Plus récemment le développement des SMA, en libérant la méthode des contraintes de quantités (quelques mg de carbone suffisent là où les techniques classiques exigeaient un gramme ou plus de carbone) a permis d'améliorer les prétraitements du collagène (Hedges et van Klinken, 1992), mais aussi de dater directement certains acides aminés (en particulier l'hydroxyproline ; Stafford *et al.*, 1982). Hedges et Law (1989) démontrent que la datation du collagène est généralement fiable si sa teneur est supérieure à 0.1% en carbone. En-dessous de ce seuil, les problèmes de pollution deviennent très importants (Long *et al.*, 1989). Tous les ossements vont perdre une partie importante de leur collagène au cours du temps et si certains auteurs (DeNiro, 1985) estiment à 10,000 BP la limite de conservation significative de ce dernier, d'autres chercheurs repoussent largement cette limite lorsque les conditions de conservation sont favorables (Tuross *et al.*, 1988 ; Bocherens *et al.*, 1995). La plupart des ossements holocènes et de nombreux ossements du Pléistocène supérieur des régions tempérées répondent au critère quantitatif de sélection défini par Hedges, et les datations effectuées depuis trente ans ont contribué au développement de nombreuses séquences chronologiques dans le monde.

En zone tropicale, la chaleur et les eaux de ruissellement favorisent l'hydrolyse du collagène et les teneurs résiduelles en carbone organique deviennent vite – souvent quelques siècles suffisent pour les ossements de surface – inférieures à 0.1 voir même à 0.01% en carbone. Sur 900 datations recensées en Afrique par Vernet et Aumassip (1992), quelques unes seulement ont été réalisées sur le collagène des ossements (5 à 10 % pour la partie du continent africain située au Nord de l'équateur). Les archéologues déplorent cet état de fait qui entrave leur recherche (Wendorf, 1992 ; Robertshaw, 1992 ; Paris, 1996). En Afrique de l'Ouest, ce sont les fouilles des grandes nécropoles d'Iwelen et de l'Adrar Bous au Niger (plus de 200 tombes fouillées, Paris, 1996), qui ont permis la première étude géochimique significative du matériel osseux en milieu saharien (Person *et al.*, 1995 ; Saliège *et al.*, 1995). Les conclusions de ce travail nous servent de référence et d'éléments de comparaison pour l'étude des ossements de surface de l'Azawagh qui ne dérogent pas à la règle commune aux zones tropicales : quasi-disparition de leur collagène et forte minéralisation carbonatée. Quel type d'information pouvons-nous tirer de la fraction carbonatée de l'os ? Etait-il possible de séparer calcite diagénétique et apatite biologique ? Tenter d'apporter des éléments de réponse nécessitait l'investissement méthodologique important que nous avons entrepris.

Le carbone de l'os

La composition chimique de la structure minérale de l'os frais est de la forme générale $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$. On la désigne plus exactement sous le nom de carbonate-hydroxylapatite en tenant compte des groupements de CO_3^{2-} qui se substituent principalement à des PO_4^{2-} dans la structure cristalline ; ils peuvent également se substituer à des OH^- et être piégés par adsorption de surface sous la forme de HCO_3^- . La substitution la plus fréquente dans les apatites biologiques est celle localisée au niveau des groupements PO_4 (Bonel, 1972). La proportion entre les radicaux CO_3^{2-} de substitution dans la maille cristalline et les HCO_3^- et CO_3^{2-} adsorbés, est mal connue (Poyart *et al.*, 1975 ; LeGeros 1981 ; LeGeros *et al.*, 1983 ; Lee-Thorp et van der Merwe, 1991). Ce CO_3 biologique constitue environ 3 à 5 % du poids de l'os frais. La fraction organique de l'os frais se compose essentiellement d'une protéine fibreuse : le collagène. L'origine alimentaire du carbone de ces fractions minérales et organiques

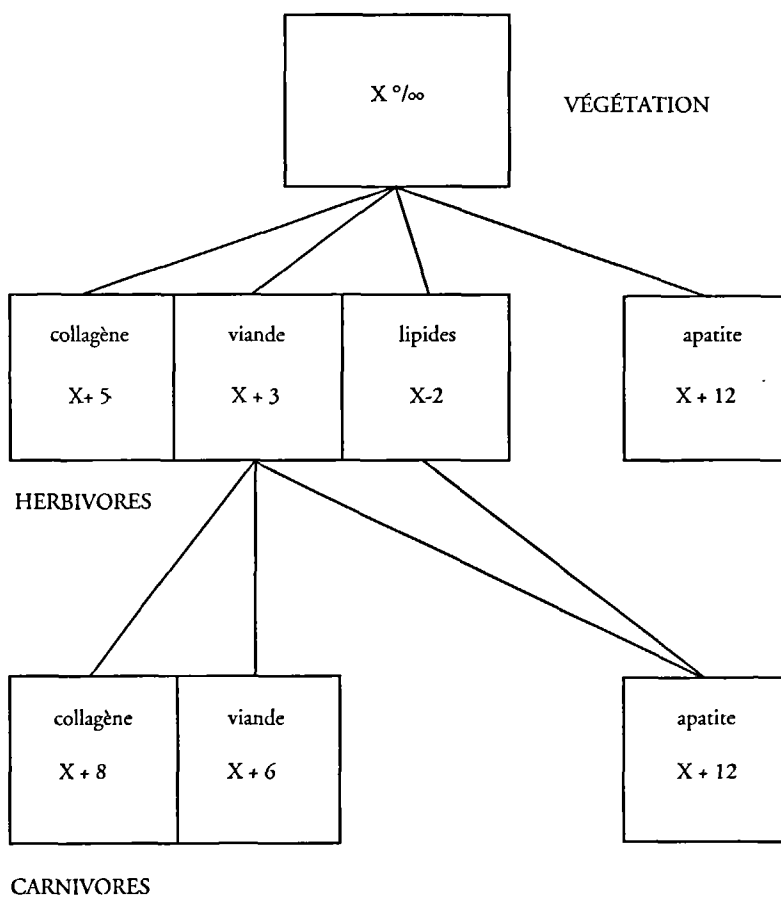
de l'os est précisément montrée par l'étude des isotopes stables du carbone et de l'azote (DeNiro et Epstein, 1978a et b ; Schoeninger et DeNiro, 1984). Le premier maillon de la chaîne alimentaire, principalement les végétaux autotrophes terrestres, va imposer les valeurs initiales des rapports isotopiques en carbone qui ne seront ensuite que légèrement modifiés dans les réseaux trophiques. Les carbones du collagène et du carbonate-hydroxylapatite vont refléter ces différences avec un fractionnement isotopique propre. Le collagène est enrichi d'environ + 5 ‰ par rapport aux valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des sources alimentaires (DeNiro et Epstein, 1978a ; Lee-thorp et van der Merwe, 1987) et le carbonate-hydroxylapatite de +10‰ pour les carnivores et de +14‰ pour les herbivores (Sullivan et Krueger, 1981 ; Bocherens *et al.*, 1995). L'écart relatif entre les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate-hydroxylapatite et du collagène désigné par le symbole Δ (fig. 12) dépend des réseaux trophiques (Krueger et Sullivan, 1984 ; Lee-Thorp *et al.*, 1989).

C'est le collagène, qui se conserve généralement relativement bien dans l'os fossile, qui est utilisé lors des études de reconstitutions paléo-alimentaires. Par contre, le carbonate-hydroxylapatite, bien que reflétant lui aussi le régime alimentaire, est rarement utilisé car réputé trop sensible aux échanges isotopiques et aux apports extérieurs. Ceci a donné lieu à une vive controverse entre différents auteurs (Sullivan et Krueger, 1981 et 1983 ; Schoeninger et De Niro, 1982 et 1983). Lee-Thorp *et al.* (1989) et Lee-Thorp et van der Merwe (1991) font la synthèse de ces travaux et démontrent que si le carbonate-hydroxylapatite des ossements peut poser des problèmes de diagenèse, l'émail dentaire conserve (après prétraitement), en général, sa signature isotopique originelle.

Différences d'origine alimentaire entre populations agricoles et pastorales en Afrique

Dans un écosystème de région tempérée, le couvert végétal a un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de l'ordre de -25 à -27 ‰ et les isotopes du carbone marquent faiblement les réseaux trophiques. Le collagène d'un os humain d'Européen a un $\delta^{13}\text{C}$ compris entre -20 et -22 ‰ et un carbonate-hydroxylapatite situé entre -13 à -15 ‰. Van der Merwe et Vogel (1978) ont démontré l'intérêt des plantes en C4 comme marqueur de la chaîne alimentaire (introduction du maïs dans l'alimentation des populations nord-amérindiennes).

FIGURE 12 : Les réseaux trophiques et leur fractionnement isotopique en carbone
(in Lee-Thorp *et al.*, 1989)



Par ailleurs, Ambrose et DeNiro (1986) ont étudié le collagène de populations humaines vivant au siècle dernier et évoluant dans un écosystème tropical africain. Le collagène des Kikuyu du Kenya qui pratiquent une agriculture de plantes en C3 et C4, ainsi que l'élevage de quelques chèvres et bovins, a une valeur moyenne en $\delta^{13}\text{C}$ de -10.6‰ ($n = 2$, $\sigma = \pm 1.4$). Les agriculteurs Kalenjin de Tanzanie dont la nourriture de base est composée de plantes en C4 cultivées, complétée par l'élevage de chèvres et de bovins, ont un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de -6.5‰ . Par contre, les pasteurs Turkana qui nomadisent au nord-est du Kenya et dont la majeure partie de l'alimentation est tirée de leurs troupeaux de bovins, chèvres et dromadaires (sang, viande et lait) qu'ils complètent par des cueillettes de plantes en C3 et des graminées en C4, ont un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de -14.6‰ ($n = 7$, $\sigma = \pm 2.9$). Ces auteurs confirment ainsi que la différence de régime alimentaire entre pasteurs et agriculteurs évoluant dans un écosystème tropical, est bien marquée par les isotopes stables du carbone.

L'étude de la composition isotopique en carbone du collagène des squelettes des nécropoles d'Iwelen et de l'Adrar Bous, partiellement conservé grâce à l'étanchéité des tombes (Saliège *et al.*, 1995), a permis, en les comparant aux valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des collagènes extraits par Ambrose et DeNiro, d'émettre des hypothèses bien étayées sur l'alimentation de base et donc partiellement sur le mode de vie de ces populations. Le collagène des ossements de la tombe à cratère S 68 provenant d'Iwelen que nous avons décrite précédemment (tab. 1), a un $\delta^{13}\text{C}$ de -14.5‰ . Les liens culturels de cette femme, morte il y a 1170 ans, avec les populations touarègues actuelles est incontestable (bijoux, robe). Le régime alimentaire traditionnel (pré-colonial) des Kel Aïr est composé de lait, de mil et de quelques fruits ; la viande est rarement consommée (Bernus, 1981). Dans les tombes à cratère plus anciennes, édifiées entre 2200 et 3300 BP, le $\delta^{13}\text{C}$ moyen du collagène est de -13.4‰ ($n = 12$, $\sigma = \pm 0.75$). Les tombes circulaires à plate-forme d'Iwelen et de l'Adrar Bous, dont l'architecture plus ancienne date de 4000 à 5000 BP, ont un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de -12.5‰ ($n = 9$, $\sigma = \pm 1.3$). Si l'on compare les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de ces deux nécropoles avec les analyses de collagène effectuées par Ambrose et DeNiro, on constate que les constructeurs des tombes à cratère et à plate-forme ont des teneurs en ^{13}C très proches de celles des pasteurs Turkana et des Touaregs de la période pré-coloniale. Ces données confirment les hypothèses des archéologues quant au mode de vie pastoral de ces populations (Paris, 1996). Dans l'Aïr, nous avons ainsi

mis en évidence le pôle pastoral et les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ y afférant. Mais dans l'Azawagh, dans un même écosystème, les populations ont-elles eu une alimentation de base comparable ou existe-t-il une diversité équivalente aux populations étudiées en Afrique orientale ? Nous tenterons d'apporter dans ce travail des éléments de réponse site par site.

La datation de la fraction minérale de l'os

Le système ouvert étant respecté, le carbonate-hydroxylapatite est théoriquement datable. Cependant, après la mort, le squelette est généralement en contact plus ou moins franc, selon le lieu de l'enfouissement et/ou l'étanchéité de la sépulture, avec le CTID. On peut classer les os fossiles en deux groupes selon la nature de leur fraction carbonatée totale. Le premier, le plus fréquent en Afrique de l'Ouest, comprend les ossements envahis par les calcites secondaires *post mortem*. Ces dernières constituent fréquemment une fraction importante de l'os fossile (de 10 à 30 % du poids pour les os de surface étudiés dans l'Azawagh) ce qui rend marginal le carbonate-hydroxylapatite biologique. *A contrario*, le second groupe est constitué des ossements dépourvus de calcite (dans les limites de la sensibilité de la diffraction des RX, soit un pourcentage inférieur à 1.5 % de CaCO_3). Cette absence de calcite n'est cependant pas un test déterminant de conservation du carbonate-hydroxylapatite. On peut envisager que les ions carbonates du CTID soient adsorbés en surface, ou qu'ils se substituent à leur tour aux radicaux PO_4^{2-} ou OH^- dans la maille cristalline. La porosité de l'os, augmentant au fur et à mesure de la disparition de la trame organique, favorise les phénomènes d'adsorption des ions libres de l'environnement. Le carbone diagénétique peut exister sous trois formes : calcite, ions CO_3 adsorbés en surface ou échange isotopique en carbone par substitution dans la maille cristalline.

Pour ces raisons, la datation de la fraction carbonatée totale est vite abandonnée (Broecker et Olson, 1961). Cependant, quelques chercheurs poursuivent des études beaucoup plus poussées sur le carbonate-hydroxylapatite (Haynes, 1968 ; Hassan *et al.*, 1977). Ces auteurs tentent d'éliminer les carbonates secondaires par traitement à l'acide acétique ou par décomposition thermique (Haas et Banewicz, 1980). Ces prétraitements éliminent préférentiellement la calcite tout en préservant le carbonate-hydroxylapatite. Des datations sur le carbonate-hydroxylapatite se sont

poursuivies lors des études entreprises à l'aide des SMA (Stafford *et al.*, 1987 ; Hedges *et al.*, 1995 ; Lukacs *et al.*, 1996). Tous ces auteurs soulignent la difficulté d'estimer les apports hypothétiques du carbonate total inorganique dissous (CTID) des eaux de l'environnement dans la composition de la fraction minérale de l'os. Les quelques datations publiées sur le carbonate-hydroxylapatite purifié, bien que parfois divergentes par rapport au collagène, sont loin d'être aberrantes. Les travaux de Sullivan et Krueger (1981) et Lee-Thorp *et al.* (1989) relancent le débat car ils permettent d'envisager l'utilisation de Δ , maintenant que sont connues ses variations liées aux réseaux trophiques, comme traceur des apports *post mortem* en carbone.

L'étude géochimique et minéralogique entreprise sur les quarante squelettes des tombes d'Iwelen et de l'Adrar Bous (Saliège *et al.*, 1995 ; Person *et al.*, 1995) permet de mieux cerner l'évolution de l'os fossile en système semi-clos (on peut, en première approximation, considérer ces tombes comme étanches aux eaux de ruissellement ; Paris, 1996) et en milieu aride. Ces auteurs dégagent les tendances générales de l'évolution de l'os protégé des eaux de ruissellement en milieu saharien :

- une oxydation importante de la matière organique de la grande majorité des ossements.
- l'absence de calcite diagénétique dans la totalité des squelettes.
- le carbonate-hydroxylapatite est toujours partiellement dissous.
- une évolution de l'indice de cristallisation du carbonate-hydroxylapatite.
- les Δ sont constants, en accord avec le modèle de Lee-Thorp *et al.* (1989) et confirment l'absence d'échanges significatifs avec les ions carbonates de l'environnement.
- une relation lie indice de cristallisation (C.I.), teneurs en CO_3 du carbonate-hydroxylapatite et collagène résiduel.

Cette absence, ou du moins la faiblesse des échanges isotopiques, est démontrée par l'égalité des dates effectuées d'une part sur le carbonate-hydroxylapatite et d'autre part sur le cuir, le collagène ou les charbons associés de treize tombes. Ces auteurs démontrent ainsi que la datation du carbonate-hydroxylapatite des os protégés du CTID de l'environnement est fiable en milieu aride saharien pour l'Holocène.

Les ossements de surface en milieu saharien

A l'inverse des ossements protégés de l'Aïr, les ossements de surface de l'Azawagh sont largement exposés au CTID de l'environnement. On peut établir un bilan en utilisant les masses, les $\delta^{13}\text{C}$ et les activités ^{14}C des quatre constituants théoriques du carbone minéral de l'os fossile : le carbonate-hydroxylapatite biologique (α), les ions HCO_3^- et CO_3^{2-} adsorbés (β) dans la structure poreuse de l'os, le carbone (ϵ) échangé directement dans le réseau cristallin et enfin les calcites secondaires précipitées (γ). Au temps t de la mise au jour du squelette :

$$m_t = \alpha m_{\text{HCA}} + \Sigma \beta m_{\text{CO}_3} + \Sigma \epsilon m_{\text{C}} + \Sigma \gamma m_{\text{cal}} \dots\dots\dots [5]$$

$$\delta^{13}\text{C}_t = \alpha \delta^{13}\text{C}_{\text{HCA}} + \Sigma \beta \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_3} + \Sigma \epsilon \delta^{13}\text{C}_{\text{C}} + \Sigma \gamma \delta^{13}\text{C}_{\text{cal}} \dots\dots [6]$$

$$A_t = \alpha A_{\text{HCA}} + \Sigma \beta A_{\text{CO}_3} + \Sigma \epsilon A_{\text{C}} + \Sigma \gamma A_{\text{cal}} \dots\dots\dots [7]$$

A_t , $\delta^{13}\text{C}_t$, m_t : activité ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$ et masse de l'échantillon analysé

A_{HCA} , $\delta^{13}\text{C}_{\text{HCA}}$, m_{HCA} : activité ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$ et masse du carbonate-hydroxylapatite

$\Sigma \beta A_{\text{CO}_3}$, $\Sigma \beta \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_3}$, $\Sigma \beta m_{\text{CO}_3}$: somme des activités ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$ et masses des ions CO_3 et HCO_3 adsorbés

$\Sigma \epsilon A_{\text{C}}$, $\Sigma \epsilon \delta^{13}\text{C}_{\text{C}}$, $\Sigma \epsilon m_{\text{C}}$: somme des activités ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$ et masse de carbone échangé dans le réseau cristallin

$\Sigma \gamma A_{\text{cal}}$, $\Sigma \gamma \delta^{13}\text{C}_{\text{cal}}$, $\Sigma \gamma m_{\text{cal}}$: somme des activités ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$ et masses des calcites secondaires

α , $\Sigma \beta$, $\Sigma \epsilon$ et $\Sigma \gamma$ les fractions respectives de chaque composant ($\alpha + \Sigma \beta + \Sigma \epsilon + \Sigma \gamma = 1$)

et en explicitant le temps, A_t devient :

$$A_t = \alpha A_{\text{HCA}0} e^{-\lambda t} + \Sigma \beta_i A_{\text{CO}_3} e^{-\lambda t_i} + \Sigma \epsilon_i A_{\text{C}} e^{-\lambda t_i'} + \Sigma \gamma A_{\text{cal}} e^{-\lambda t_i''} \dots\dots\dots [8]$$

t_1 : âge de la mort de l'individu

t_i : âge de chaque substitution ou adsorption d'ions CO_3^{2-} ou HCO_3^-

t_i' : âge de chaque échange en carbone dans le réseau cristallin

t_i'' : âge de chaque précipitation de calcite

$A_{\text{HCA}0}$: activité ^{14}C , au temps zéro (mort de l'individu)

Dans un système ouvert quelconque la mobilité des ions du CTID de l'environnement est liée globalement à l'hydrologie de la région. Les travaux des spécialistes des datations ^{14}C des eaux souterraines montrent que la carbonatation de l'eau lors de son infiltration dans le sol dépend du contexte végétal et géologique, en particulier de la nature du couvert végétal – plantes C3 ou C4 – et de la matrice carbonatée (Mook, 1974 ;

FIGURE 13A : Les ossements protégés d'Iwelen :
relation carbone minéral vs indice de cristallinité

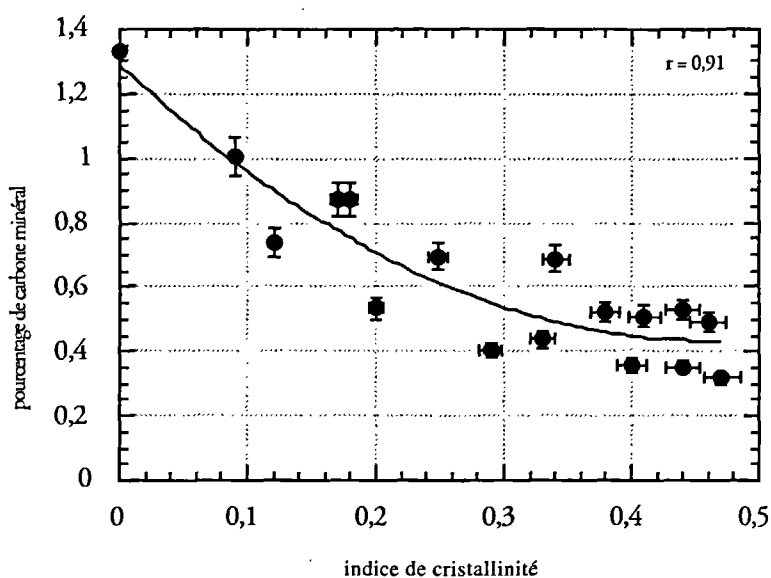
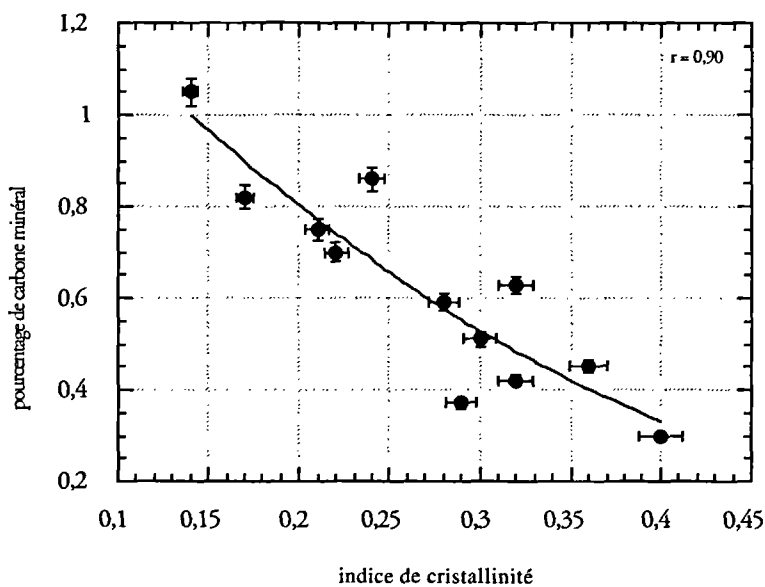


FIGURE 13B : Les ossements carbonatés de surface :
relation carbone minéral vs indice de cristallinité après prétraitement



Fontes, 1979). Les piégeages de HCO_3^- ou de CO_3^{2-} dans la maille cristalline et les précipitations de calcite se font avec une cyclicité indéterminée et ne sont pas obligatoirement synchrones. Les $\delta^{13}\text{C}$ et activités ^{14}C sont variables à la fois dans le temps et d'un site à l'autre ; en outre, l'activité ^{14}C de chaque dépôt piégé ou précipité va commencer à décroître dès l'instant de sa formation. Dans ces conditions, le mécanisme de carbonatation est souvent si complexe et aléatoire qu'il rend impossible la datation de la fraction carbonatée totale.

La problématique ainsi posée, est-il possible de séparer le carbonate-hydroxylapatite biologique des carbonates diagénétiques ? Nous avons apporté des perfectionnements (Saliège *et al.*, en préparation) à la méthode proposée par Lee-Thorp *et al.* (1989) (*cf. supra*). L'attaque de l'os se fait également à l'aide de l'acide acétique dilué, mais sous vide, ce qui permet d'éliminer efficacement calcites secondaires (γ) et ions adsorbés (β). L'originalité de notre prétraitement est de permettre cette purification, d'une part sans perturber l'état de cristallinité du carbonate-hydroxylapatite biologique et d'autre part d'en contrôler l'efficacité grâce à l'étude géochimique et minéralogique des squelettes d'Iwelen (*cf. supra*). Celle-ci a permis de mettre en évidence une relation liant l'état de cristallinité et la teneur en carbone minéral du carbonate-hydroxylapatite biologique (fig. 13a) préservé de tout échange isotopique *post mortem* significatif. Cette corrélation (fig. 13b) a pu être généralisée grâce à notre méthode de prétraitement du carbonate-hydroxylapatite purifié. Une bonne datation ^{14}C exige une pollution inférieure à environ 1% de carbone exogène (soit une tolérance de 20 à 80 mg de carbone pour 100 g d'os). La détection de ces traces est impossible par DRX, mais la corrélation carbone minéral *versus* indice de cristallinité (C.I.) est une clé pour résoudre ce problème ; les prétraitements doivent tenir compte de l'état de cristallinité de l'os. Ceux ayant subi de trop fortes contraintes du milieu perdent l'essentiel de leur carbone minéral (C.I. > 0.5, Person *et al.*, 1995 ; Person *et al.*, 1996a) et ils deviennent indatables. L'efficacité du prétraitement est par conséquent contrôlée en combinant état de cristallinité et bilan en masse, avant et après l'attaque à l'acide acétique.

Reste le problème difficile de l'échange isotopique en carbone (ϵ) et en oxygène entre le CTID et la maille cristalline (*e.g.* Krueger, 1991 ; Wright et Schwarcz, 1996). Si celui-ci est effectif, il sera insensible aux

prétraitements à l'acide acétique. Nous pouvons cependant nous servir de l'apport des travaux des spécialistes des paléo-alimentations (*cf. supra*). Pour chaque groupe humain culturellement identifié par les archéologues, nous pouvons admettre que l'écart entre les $\delta^{13}\text{C}$ de l'hydroxylapatite-carbonate et du collagène, désigné par le symbole Δ , est constant pour l'ensemble de la population (en d'autres termes, nous considérons que leur alimentation de base est identique). Cette hypothèse vraisemblable énoncée, on peut envisager l'utilisation de ce dernier comme paramètre de mesure de l'importance des apports *post mortem* dans le carbonate hydroxylapatite, dès lors que toute fluctuation du Δ ne peut s'expliquer que par ces échanges avec l'extérieur. Cependant, ce raisonnement n'est applicable que si la composition isotopique du CTID de l'environnement est connue, d'où l'intérêt d'établir un bilan en $\delta^{13}\text{C}$ avant et après prétraitement. En cas d'échange en carbone dans la maille cristalline, la valeur du $\delta^{13}\text{C}$ correspondante tend vers celle des calcites secondaires associées – au fractionnement isotopique près – leur origine en carbone étant commune (le CTID). L'échange isotopique est mis en évidence lorsque le Δ devient incompatible avec une alimentation humaine. Quoi qu'il en soit, la mesure du Δ , très utile pour mettre en évidence des échanges isotopiques importants dans la maille cristalline, n'est pas assez précise pour tester l'absence totale de substitutions dans le système cristallin. D'autres techniques sont expérimentées : spectroscopie à infrarouge, éléments traces, étude parallèle de la composition isotopique de l'oxygène du carbonate et du phosphate de l'apatite biologique (Iacumin *et al.*, 1996a), mais aucune à l'heure actuelle n'est assez sensible pour confirmer l'absence totale d'échanges dans la maille cristalline. L'approche pragmatique reste la plus précise, elle consiste à croiser systématiquement la datation des ossements purifiés avec des matériaux de référence déjà datés.

Nous avons mené ce travail à Afunfun, à In Tuduf et surtout à Chin Tafidet et tous les croisements de dates ont été satisfaisants (Paris, 1992, 1996). Nous attribuons ces bons résultats à la combinaison de deux facteurs favorables: aridité du climat et très rapide calcitisation des os de surface. En effet, on sait que la vitesse des échanges isotopiques, favorisée par la structure poreuse de l'os (Wang et Cerling, 1994), est directement liée à l'hydrologie, vecteur du CTID. La rapide carbonatation des os de surface entraîne la formation d'un mince film de calcite qui bloque les échanges entre le CTID, par ailleurs peu mobilisé, et la maille cristal-

line, ce qui explique les dates fiables obtenues. On doit souligner que tous les ossements datés sont holocènes et nous nous gardons d'extrapoler ces bonnes mesures aux périodes antérieures ou sous d'autres latitudes.

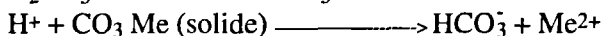
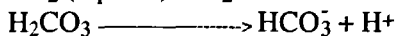
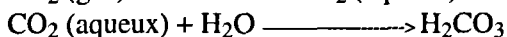
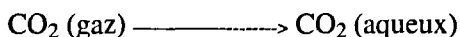
Les coquilles et l'effet réservoir

Le carbone total inorganique dissous des eaux océaniques ou continentales est la source de carbone des tests des mollusques marins, lacustres ou palustres. Quel que soit le type d'alimentation d'un lac (lac piézomètre, de nappe ou terminal) le CTID a une origine complexe résultante de trois sources majeures :

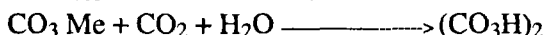
— Le CO_2 atmosphérique : le ^{14}C pénètre dans la tranche d'eau de surface lors de la mise en solution du CO_2 atmosphérique, premier terme de la série d'équilibres chimiques. Cette mise en solution dépend du pH de l'eau, de sa température et du brassage efficace des eaux de surface.

— Le CO_2 d'origine organique : après fermentation ou même seulement par respiration, la voie organique conduit elle-même à un dégagement de CO_2 par décarboxylation. Ce CO_2 est alors disponible pour s'intégrer à la suite des équilibres de dissociation des bicarbonates et des carbonates. La mise en solution étant proportionnelle à la pression partielle du CO_2 gazeux, cette fraction sera d'autant plus importante que la flore aquatique sera abondante.

— Le bicarbonate d'origine calcaire : le CO_2 dissous donne le départ à une chaîne de réactions :



Ce qui revient à la mise en solution d'un carbonate solide, le plus souvent alcalino-terreux (calcium ou magnésium) sous l'action de l'eau agressive. Ce bicarbonate peut être d'origine locale ou apporté par les eaux souterraines d'alimentation du lac :



Dans ces conditions, on doit considérer l'activité du carbone dissous sous forme de bicarbonate comme le résultat d'un mélange de deux espèces de carbone : le CO_2 porteur de ^{14}C et le carbonate solide généra-

lement dépourvu de radiocarbone (100 % de carbone moderne dans le CO_2 atmosphérique et 0 % dans le carbone minéral). Selon l'alcalinité, le brassage des eaux entre surface et fond du lac, et selon le type d'alimentation, le mélange de ces bicarbonates tendra plus ou moins vers l'équilibre isotopique avec le CO_2 atmosphérique, mais le système ouvert parfait n'est généralement pas atteint.

Le CTID étant la source de carbone des tests des mollusques, leur datation peut être faussée et leur âge apparent vieilli. Cet écart à l'équilibre est désigné sous le terme d'effet réservoir (R exprimé en années) par les laboratoires de ^{14}C . On est tenté d'utiliser les isotopes stables du carbone pour mettre en évidence cet effet réservoir. Mais la variabilité de chaque source de bicarbonate, à laquelle il faut ajouter le fractionnement métabolique propre à chaque espèce de mollusque, est telle que toute approche quantitative est exclue. Durand *et al.* (1984), ont défini les différents types de comportement des isotopes du carbone dans les milieux lacustres et palustres. Les cas extrêmes ont été signalés dans la littérature. A titre d'exemple, les encroûtements algaires des cheminées hydrothermales du lac Abhé en république de Djibouti (Fontes et Pouchan, 1975 ; Fontes *et al.*, 1985), ont précipité dans une eau carbonatée sodique de pH supérieur à 10 et leur $\delta^{13}\text{C}$ moyen est de + 3.2 ‰, valeur proche de l'équilibre isotopique théorique $\text{CO}_2\text{-CaCO}_3$ (à 20°C). Ces auteurs confirment que ces précipitations de bicarbonates s'effectuent en système ouvert en datant simultanément encroûtements et brindilles de bois piégées dans le minéral ; le R est nul et ils ont pu ainsi dater avec précision les fluctuations du niveau du lac au cours du dernier millénaire. A l'inverse, des gastéropodes vivant actuellement à l'exutoire de sources de l'oued El Akarit dans le sud tunisien (Zouari, 1987) ont fourni des âges apparents de 13,000 ans ! Seule, l'utilisation de chronomètres indépendants (5) (varves : Benson, 1993 ; coquilles d'âge connu : Rea et Colman, 1995 ; comptage de sédiments laminés : Rowanski *et al.*, 1992 ; Anderson *et al.*, 1993), méthodes qui ne sont utilisables que sur quelques sites privilégiés, permettent de tester la validité des datations ^{14}C des coquilles et plus généralement des sédiments lacustres (*e.g.* Halfman *et*

(5) Il ne faut pas confondre ces corrélations très précises et les simples comparaisons avec les autres méthodes telles que thermoluminescence, résonance de spin électronique, Uranium /Thorium, etc. Ces méthodes sont elles aussi entachées d'incertitudes souvent égales ou supérieures à celle du carbone 14.

al., 1994). En Afrique saharienne et sahélienne de nombreuses études ont été menées sur les paléolacs holocènes depuis une vingtaine d'années et, sur la foi du contexte paléohydrologique et géomorphologique, on estime que l'effet réservoir est généralement faible et il est négligé lors des reconstitutions des phases lacustres holocènes (Talbot et Kelts, 1986 ; Hillaire-Marcel, 1983 ; Gasse *et al.*, 1987). Mais l'archéologue étudiant les sites en bordure des anciens lacs doit tenir compte de cet état de fait et exclure de son raisonnement toute comparaison chronologique fine entre coquilles lacustres et matériaux archéologiques associés sur un site anthropique.

Indépendamment de l'effet réservoir, les coquilles fossiles peuvent subir des dissolutions et recristallisations partielles *via* le CTID. Le carbonate de calcium biogénique (aragonite) des tests des mollusques peut recristalliser en calcite, ce que l'on décèle par diffraction des RX, mais aussi en aragonite, plus difficilement détectable (Person *et al.*, 1996b). Chaque processus de dissolution-recristallisation, c'est-à-dire la réouverture du système clos à la mort du mollusque, va entraîner de possibles échanges avec le ^{14}C du CTID, et fausser ainsi les datations.

Œufs et gastéropodes terrestres

Les coquilles d'œufs, principalement d'autruche en Afrique et de moa en Nouvelle-Zélande, ont souvent été datées par le carbone 14. Cependant, ces datations font l'objet d'une certaine suspicion, assez exemplaire des malentendus larvés pouvant naître entre archéologues et laboratoires. Pour clore ce débat Freundlich *et al.* (1989) et Higham (1994) croisent datations sur charbons et sur œufs avec une statistique significative (25 datations) et démontrent que l'écart entre les deux types de matériaux est exactement celui dû au fractionnement $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ initial. Les coquilles d'œuf obéissent au système ouvert et les datations sont correctes une fois normalisées. Higham (1994) estime à +9 à +11 ‰ l'enrichissement isotopique entre CO_2 métabolique et coquille. De façon similaire au carbonate-hydroxylapatite des os, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ reflètent celles de l'alimentation, c'est-à-dire du couvert végétal. Au Sahara, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ varient entre -0.1 ‰ (Egypte, Wadi Akhdar dans le Gilf Kebir, Freundlich *et al.*, 1989), -5.5 ‰ (Mauritanie, Saliège, inédit), -4.5 ‰ (Algérie, Long *et al.*, 1983) et -7 ‰ (Libye, Freundlich *et al.*,

1989) ; elles reflètent celles du couvert végétal du vivant de l'animal.

La source essentielle de carbone constituant l'aragonite des coquilles des gastéropodes terrestres est aussi d'origine métabolique. Mais deux autres sources de carbone de moindre importance peuvent contribuer à la constitution de la coquille : le CO_2 atmosphérique *via* l'hémolymphe (Margaritz *et al.*, 1981) et le carbonate des sols *via* l'épithélium de la sole pédieuse. L'assimilation de calcium par dissolution des calcaires est un phénomène bien connu chez les gastéropodes. Le calcaire étant en général dépourvu de ^{14}C , cette contribution estimée à 10-20 % par Goodfriend et Hood (1983), fausse le système ouvert. Son influence est comparable à l'effet réservoir pour les coquilles lacustres.

Mesure physique et datation ^{14}C

Il est nécessaire, à la fin de cette présentation de notre méthode de travail, de faire le point sur la précision des datations. Pour tout matériau datable, celle-ci dépendra de l'erreur sur la mesure de l'activité ^{14}C , de sa position vis-à-vis du système ouvert et des contaminations ou des diagenèses éventuelles que le laboratoire n'a pu éliminer. La meilleure illustration de l'incertitude sur la mesure nous est fournie par les quatre laboratoires qui se sont associés pour établir les courbes de calibration. Les laboratoires de Pretoria, Groningen, Seattle (compteurs proportionnels) et Belfast (scintillation liquide) ont réduit l'incertitude sur l'activité ^{14}C de chaque anneau de croissance des bois de référence à ± 0.2 %, soit un écart-type d'une quinzaine d'années (1σ) pour les dix derniers millénaires ; on doit souligner la difficulté pour obtenir une telle précision (Currie, 1972 ; Pearson, 1979). Pour contrôler celle-ci, les quatre laboratoires ont multiplié les intercomparaisons et on se rend mieux compte de la difficulté de la tâche lorsque l'on sait qu'il a fallu plus vingt ans de travail avant de publier les tables et les logiciels de calibration définitifs.

Il est matériellement et financièrement impossible d'entreprendre un travail analogue pour chaque échantillon soumis par l'archéologue à un laboratoire. Mais alors, quelle est la précision des datations en routine ? Pour contrôler celle-ci, les laboratoires du monde entier s'associent pour procéder périodiquement à des intercomparaisons (*e.g.* A.I.E.A., 1991 ;

T.I.R.I., 1997). Si le laboratoire se conforme à la normalisation internationale et si la qualité des échantillons est bonne on peut atteindre une précision semblable à celle des échantillons d'intercomparaison. Cette précision de la mesure physique et l'établissement des logiciels de calibration font maintenant de la méthode du carbone 14 un outil de chronologie historique précis, comparable à la plupart des typologies usuelles telles que monnaies et céramiques. Mais ceci implique que le matériau daté respecte parfaitement le système ouvert au moment de sa formation et nous avons vu que seuls les végétaux, le collagène et le carbonate-hydroxylapatite des ossements le respectaient (à l'instar des monnaies et des céramiques on date l'objet et non le contexte ; lorsque l'on date bois ou charbons de bois le décalage entre les deux peut être important).

En Afrique de l'Ouest, les méthodes physico-chimiques sont indispensables dès les périodes antérieures à quelques siècles. Or, d'une part les conditions de préservation des échantillons sont beaucoup moins favorables qu'en Europe et, d'autre part, les fouilles sont souvent plus difficiles, faute de moyens matériels. Face à ces contraintes deux stratégies de l'échantillonnage se sont développées, sources de confusion, car non explicites. La première est classique, elle consiste à ne prélever que les échantillons respectant le système ouvert (en pratique les charbons de bois) et en position stratigraphique. De très nombreux sites de toute la bande sahélienne ont été datés ainsi (fleuve Sénégal, Delta intérieur du Niger, Burkina Faso, Niger). Ces datations, une fois calibrées, contribuent à l'établissement de chronologies historiques. Cependant les charbons de bois archéologiquement significatifs sont rares plus au Nord, dans toute la bande subsaharienne et au Sahara. Cette carence impose une autre stratégie et quelques laboratoires ont tenté sporadiquement tous les matériaux susceptibles d'être datés pour pallier à ce handicap (coquilles lacustres, sédiments lacustres, poteries, sols organiques, escargots), bien que ces matériaux ne respectent pas parfaitement le système ouvert. Les laboratoires ayant effectué ces mesures ont émis les réserves d'usage ; à l'erreur statistique de comptage s'ajoute une incertitude impossible à chiffrer et, si ces datations permettent d'établir une chronologie ^{14}C très utile, elles ne permettent pas, *via* les calibrations, d'accéder aux temps historiques. Mais ces restrictions disparaissent fréquemment lors de l'élaboration de synthèses paléoclimatiques ou archéologiques d'où certaines confusions, à terme très préjudiciables. Conscients de ces ambiguïtés, et obligés de travailler nous aussi dans ce contexte difficile,

nous avons tenté ici de mettre à plat les différents problèmes et nous proposons comme approche chronologique nouvelle l'utilisation des poteries à dégraissant végétal et le carbonate-hydroxylapatite purifié. Par ailleurs, l'utilisation systématique des isotopes stables du carbone nous a permis de dépasser le cadre purement chronologique et d'acquérir des informations sur l'alimentation humaine, les modes de cuisson des céramiques et plus généralement sur l'environnement dans lequel les populations de l'Azawagh ont vécu au cours de l'Holocène.

Description des sites

Itinéraire Tahoua-Mentes

La cuvette de Tarada (15°58'N ; 4°46'E)

Sur la route menant de Tahoua à Tillia, 30 km environ avant d'arriver à Tillia (fig. 2), la piste descend dans une vaste cuvette relativement boisée dont le centre est constitué de dépôts palustro-lacustres. Repéré en 1978, lors d'une prospection menée avec Michel Icole, ce site a été étudié en 1979, puis en 1985.

TRD C. Nous avons regroupé sous la dénomination TRD C les deux sondages effectués dans la partie basse (S1) et haute (S2) de la cuvette, pour définir l'importance et la chronologie du lac qui occupait, à l'Holocène, le fond de cette dépression. Sur un substrat constitué par des grès silicifiés ou par une cuirasse ferrugineuse, on observe des dépôts palustro-lacustres atteignant 1.7m au centre de la cuvette. En particulier, on note l'existence d'un niveau diatomitique carbonaté blanc pouvant atteindre 0.65m d'épaisseur ; il repose sur un niveau sablo-argileux gris-brun et est recouvert par un sable argilo-silteux coquillier gris à noir.

Les prélèvements de mollusques en surface ont permis d'identifier des *Limicolaria turiformis* et des *Melanoïdes tuberculata*. Les sédiments diatomitiques carbonatés ont été datés de 5360 ± 140 BP (Orsay-1714 ; $\delta^{13}\text{C} = -9.8\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -4.6\text{‰}$) pour le premier sondage et 5115 ± 160 BP (Orsay-1711) pour le second. Les *Melanoïdes tuberculata* (surface) ont été datés de 3950 ± 120 BP (Orsay-1751 ; $\delta^{13}\text{C} = +4.11\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -0.48\text{‰}$).

TRD T. Ce site s'étend sur environ 500m le long de la bordure nord du lac ; il est surtout intéressant pour la faune, car nous n'y avons pas trouvé d'industrie ni aucune trace d'activité humaine. Les prélèvements effectués ont permis d'identifier de l'hippopotame, du crocodile, des poissons (*Lates niloticus*) et des mollusques aquatiques (*Melanoides tuberculata*, *Mutela* sp., *Bulinus truncatus*, *Caelatura lacoini*, *Corbicula africana*). Une datation de 9050 ± 150 BP (Orsay-1750 ; $\delta^{13}\text{C} = -3.43\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -2.90\text{‰}$) a été obtenue sur *Mutela* sp.

NFN 1 (16°N ; 4°48'E). Lors de notre mission de 1979, nous avons découvert des lentilles de scories de fer et des restes de fourneaux (fonds et tuyères). Ces traces d'activité métallurgique (nous en avons dénombrées huit) sont installées au sommet de petites buttes anthropiques rubéfiées coiffant les dunes qui bordent la cuvette de Tarada vers le Nord-Est, à environ 10 km du « lac », en direction de Tillia, au lieu dit Inufan. D'anciens lieux d'habitat ont aussi été identifiés en 1985, toujours dans le secteur nord de la cuvette, à l'Est des sites de métallurgie, 2 km au Nord du site à faune TRD T. Implantés sur des versants de dunes, ils sont assez importants, d'une superficie moyenne d'environ un hectare. Sur l'un d'eux, on remarque des squelettes en partie dégagés par l'érosion. Pour deux d'entre eux, on peut voir qu'ils sont couchés sur le côté droit, les jambes demi-fléchies (décubitus latéral droit demi-fléchi) la tête au Sud, les pieds au Nord, la face tournée vers l'Est. L'orientation correspond à la règle musulmane mais la position du corps évoque plutôt les traditions préislamiques. On se rappelle toutefois que dans les sépultures en margelle de puits du Hoggar, d'âge et de coutume islamiques, les corps sont le plus souvent en position demi-fléchie (Monod, 1932 ; Reygasse, 1940). Le matériel archéologique, assez diffus, est constitué d'éclats de quartz et de tessons de céramique rouge dont les décors sont faits à la roulette.

Pas de collecte d'objets. Un fourneau de réduction de minerai de fer a pu être daté de 1595 ± 80 BP (Orsay ; âge calibré 400-560 AD, 1 σ), sur des charbons de bois (Tillia 79) recueillis à 0.3m de profondeur.

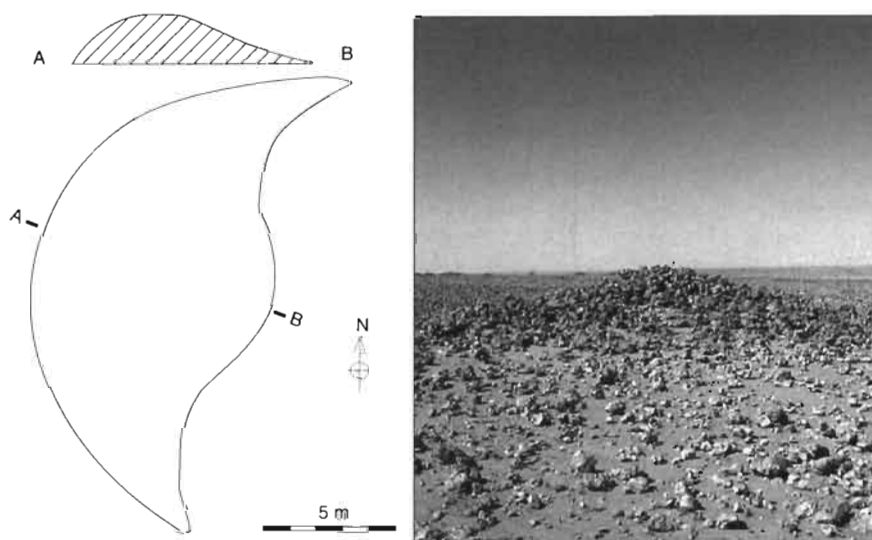
Conclusions. Nous n'avons pas trouvé de traces d'une présence humaine à l'époque néolithique autour de cette dépression qui fut pourtant occupée par un lac assez important dès l'Holocène ancien, comme le montrent les restes de faune prélevés sur ses rives (crocodiles, *Lates niloticus*). L'association entre *Melanoides tuberculata* et *Caelatura lacoini* d'une part, et *Caelatura lacoini* et *Corbicula africana* d'autre part, indique l'existence d'un milieu aquatique pérenne et probablement relativement profond (plus d'un mètre). Ce premier lac a été daté de 9050 BP environ sur des

coquilles prélevées à l'emplacement supposé du rivage. Sur les coupes, les dépôts correspondant pourraient être ceux du sable argileux inférieur. Le niveau diatomitique daté de 5400 à 5100 BP environ correspondrait à un autre épisode lacustre. Les sables argilo-silteux coquilliers, noir à gris-noir, surmontant les diatomites blanches, pourraient correspondre à la fin de cet épisode lacustre. Mais, compte tenu de la nette discontinuité entre la diatomite et les sables coquilliers, il est plus probable que ces derniers représentent un troisième épisode distinct, daté par les coquilles en surface de 3950 BP environ. Ce n'est que beaucoup plus tard, vers 1600 BP, que l'on trouve des traces d'une occupation humaine avec des sites à métallurgie. Toutefois, nous ne savons pas si ces traces sont contemporaines des habitats sur lesquels nous avons observé des inhumations.

La nécropole d'Igendel

GNDL (16°07'N ; 4°49'E). Une importante nécropole à monuments funéraires est implantée sur le relief tabulaire d'Igendel, juste au Sud de Tillia.

FIGURE 14 et photo 1 : Tumulus en croissant d'Igendel, près de Tillia.



Les monuments appartiennent pour la plupart à la famille des tumulus en plate-forme, du type tronconique surbaissé ; mais nous avons vu trois tumulus en croissant sur la partie nord du plateau. Les monuments sont

d'allure trapue, fortement renflés dans leur partie centrale et tous sont ouverts vers l'Est ; l'un d'eux, que nous avons relevé, mesure 18m de long avec une orientation de 10°N (fig. 14 et photo 1). Les tumulus en croissant sont théoriquement les plus anciens. On peut, par les résultats obtenus plus au Nord, dans l'Aïr, situer leur apparition vers 4500 BP, soit à la phase finale du Néolithique récent. Les tumulus en plate-forme seraient plus récents, post-néolithiques.

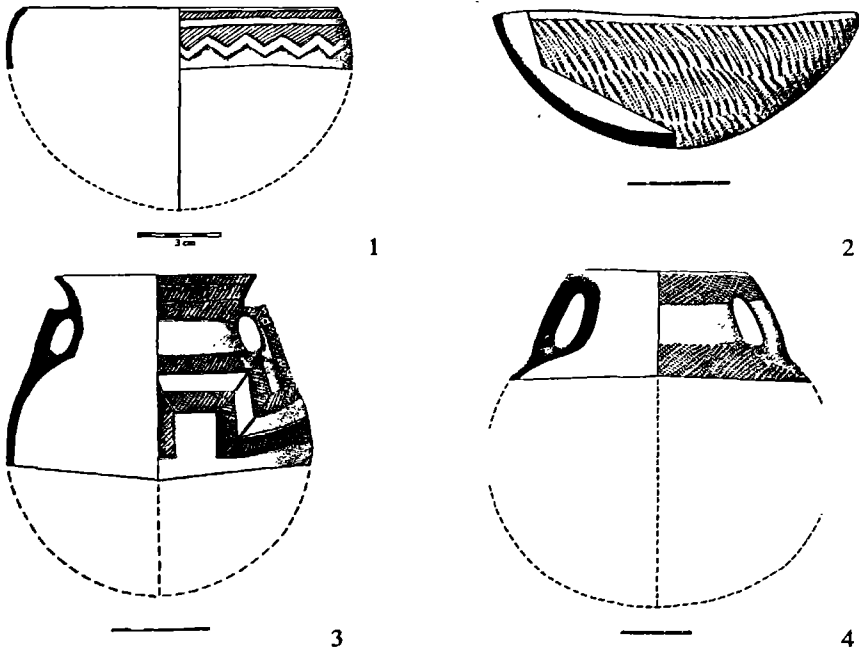
La vallée de l'Azar

La prospection des vallées affluentes de l'Azawagh, entre Tillia et Mentès (fig. 2), s'est révélée plus difficile que prévu. Ces vallées, dont nous comptons prospector les berges, ont montré une morphologie assez confuse. Il s'agit très probablement de vallées très anciennes (au moins pré-holocènes) fortement ensablées par différents épisodes arides et que les phases humides de l'Holocène n'ont pu suffisamment réentailler pour y marquer une vraie morphologie de vallée, avec rives, berges et lit. A notre avis cette région ne peut être prospectée de façon efficace qu'avec le concours d'informateurs locaux (bergers).

LTN 1 (16°30'N ; 4°35'E). Le site LTN 1 nous a été montré par un informateur rencontré au forage d'Agorak. Il se trouve sur la bordure sud de la cuvette d'Ilatane, une dizaine de km à l'Ouest d'Agorak, sur la rive gauche de l'Azar. Cette dépression est délimitée par des dunes qui reposent sur un niveau crétacé riche en échinodermes. Les vestiges archéologiques sont très éolisés. Le matériel est constitué d'armatures lithiques et de tessons de poterie de facture néolithique (fig. 15.1 et 2). Non loin de ce gisement, nous remarquons des traces d'occupation beaucoup plus récentes, très certainement médiévales (fig. 15.3 et 4). De nombreux limicolaires pourraient permettre de dater la fin de la dernière phase humide qu'a connue cette région. Récolte de tessons de poteries. Prélèvements de coquilles de mollusques : *Melanoides tuberculata* et *Limicolaria turrisformis* (dominants).

FIGURE 15 : Poteries de la région d'Ilatan.

1 : pot néolithique décoré par impressions directes et incision ; 2 : écuelle néolithique décorée par impressions pivotantes. 3 et 4 : poteries « médiévales » ou sub-actuelles.



La région de Mentès

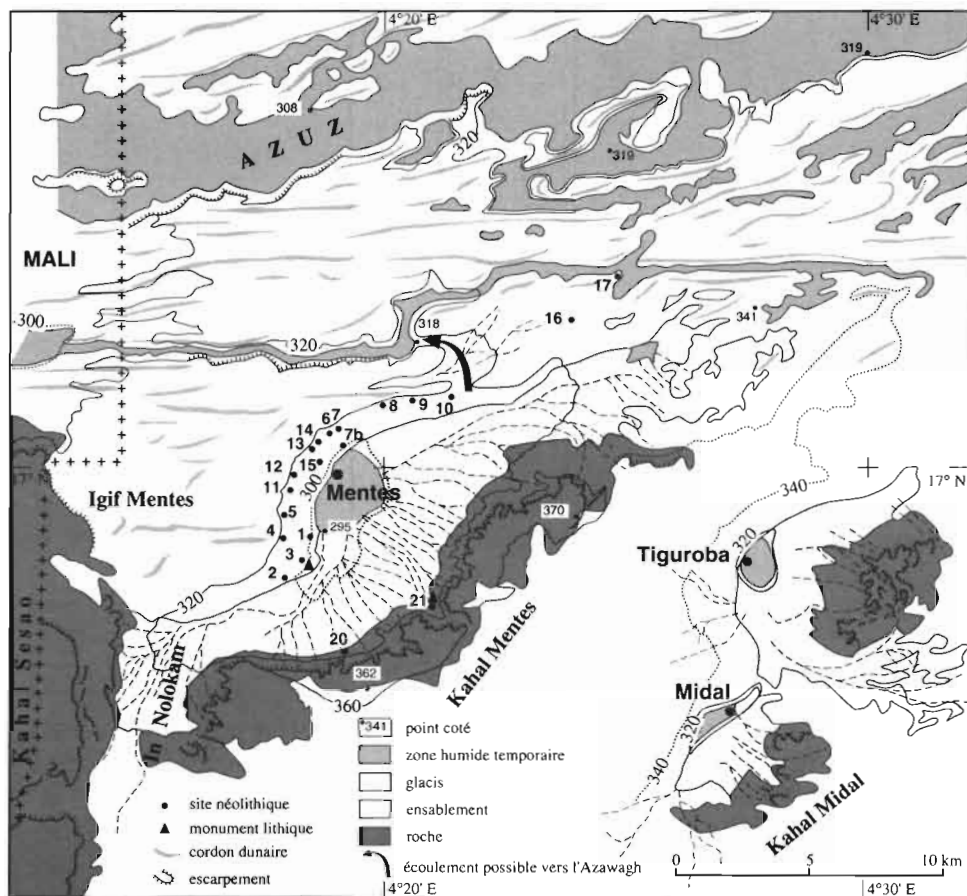
Située par $4^{\circ}18'$ de longitude Est et 17° de latitude Nord (fig. 2), cette région offre un grand intérêt par les nombreuses traces d'occupation humaine à l'Holocène, ainsi que par la présence d'un niveau ancien attribué au Pliocène et de plusieurs glacis-terrasses récents attribués au Pléistocène supérieur et à l'Holocène.

Le cadre topographique et géologique

a) **les formations anciennes.** Il s'agit d'une cuvette dont le centre est occupé temporairement par une mare après la saison de pluies (fig. 16) ; des puisards sont exploités ensuite pendant quelques mois par les populations nomades. La cuvette, dont le fond s'abaisse en-dessous de 295 m,

est dominée de 20 à 30 m, au Nord, par les cordons d'un erg ancien, dunes ocre ou rouges, plus ou moins ravinées actuellement. Par contre, sur ses autres bordures elle est dominée par diverses corniches nettement plus élevées. A l'Est et au Sud, l'escarpement qui a l'allure d'une cuesta, culmine vers 360-370m (fig. 17). Il est lié à la présence d'un niveau ferrugineux (1.5m environ) qui joue le rôle de « couche dure » protectrice sur les argiles et grès argileux du Crétacé supérieur. Il s'agit d'une cuirasse alvéolaire (0.5m d'épaisseur environ), surmontant un conglomérat avec joints et nodules ferrugineux (Morel, 1985b). Cette cuirasse fossilise la vaste surface d'aplanissement dans laquelle s'est enfoncé le réseau des vallées et qui est assimilée à la surface fini-Ct par Morel (1985b). A l'Ouest, on observe deux corniches. La plus haute culmine à 370-375m. Cette légère différence d'altitude des surfaces sommitales entre les deux

FIGURE 16 : localisation des sites de la région de Mentes.



zones est expliquée par une faille N-S ayant joué au Plio-Quaternaire (Morel, 1985b). A l'Ouest, la haute corniche est formée de calcaire paléocène surmontant des séries marneuses et argileuses du Crétacé supérieur (Greigert, 1966 et figure 1). La seconde, 20 à 25 m en dessous, correspond à une cuirasse ferrugineuse surmontant un dépôt argileux très compact puis des séries crétacées peu résistantes. La cuirasse ferrugineuse jouant le rôle de couche dure explique, là aussi, la présence de cette pseudo-cuesta.

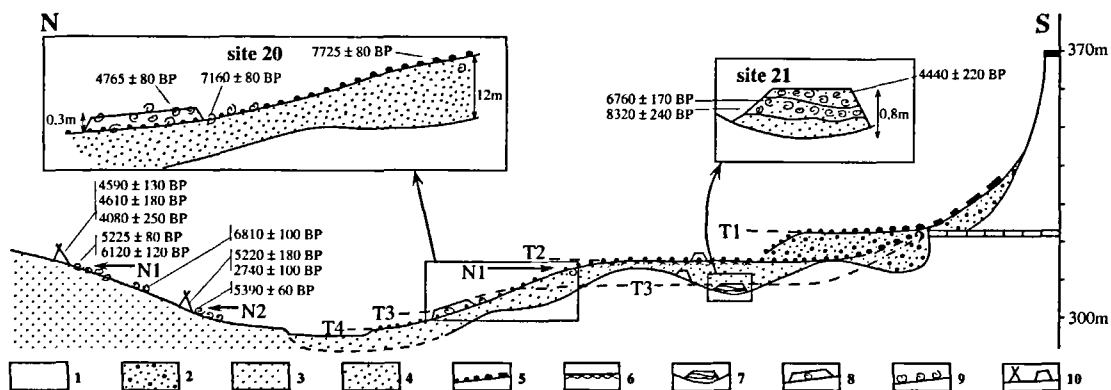
Épaisse d'environ 2 mètres, cette cuirasse présente de nombreux éléments bioturbés et des moulages de végétaux : des tiges de différents diamètres qui donnent de grosses tubulures, des morceaux de rhizomes, des éléments de feuilles de roseaux et même des fleurs de nénuphars. Etant donné sa position topographique, on peut penser que cette cuirasse est postérieure à la surface « fini-Ct » qui fossilise l'ensemble de la surface du bassin des Iullemenden. L'entaille de cette surface aurait même été déjà sérieusement avancée dans la mesure où la cuirasse à végétaux se trouve 20 à 25m plus bas. En revanche, elle domine de 25 à 35m le talweg actuel d'In Nolakam (fig. 16). Des dépôts palustres à moulages de mollusques, cuirassés et occupant une position topographique similaire, ont été observés au Sud du Niger (Dubois et Lang, 1981). Ils sont attribués à la fin du Pliocène (2 à 1.7 Ma) qui marque le premier pallier dans l'aridification du Sahel en cours depuis 3.2 Ma (Durand, 1995). Il est probable que la cuirasse à végétaux de Mentès marque ce même niveau, mais ce n'est pas certain.

En effet, les observations topographiques ne peuvent remplacer totalement des observations stratigraphiques véritables. Or, en raison de l'ensablement au pied de la corniche paléocène, la géométrie des dépôts n'a pu être établie avec certitude. On peut penser que le niveau à nénuphars est posé sur le Crétacé érodé et est limité latéralement par la corniche paléocène. Autrement dit, les dépôts palustres à nénuphars occuperaient le fond d'une ancienne dépression creusée dans les dépôts paléocènes et crétacés. Mais, le bord de cette mare fossile n'ayant pu être observé en raison de l'ensablement, on ne peut exclure que le niveau à nénuphars appartienne au Crétacé et passe donc latéralement sous la corniche paléocène ? Des niveaux continentaux palustres sont connus dans le Crétacé supérieur de cette région (Greigert, 1966). L'hypothèse d'un dépôt pliocène, bien que la plus probable, ne pourra être établie définitivement que par le creusement d'une tranchée au pied de la corniche...

Par ailleurs, au Sud du secteur inondable (fig. 16) nous avons repéré 4 niveaux de glaciais ou de terrasses étagés. Le plus haut (T1, fig. 17), semble comporter deux parties. A l'amont, au pied de la corniche liée à la cuirasse considérée comme fini-Ct (Morel, 1985b), il s'agit d'un vieux

FIGURE 17 : Coupe synthétique des formations quaternaires de Mentès.

1 : substratum crétacé ; 2 : éboulis (sables argileux, graviers et galets) ; 3 : sables éoliens anciens, ocres à rouges devenant beiges à blancs avec les remaniements superficiels ; 4 : sables généralement argileux, beiges à brun-ocres ; 5 : graviers, galets et blocs ferrugineux provenant de l'érosion de la dalle sommitale considérée comme fini-Ct ; 6 : cimentation ferrugineuse ; 7 : lumachelle à matrice sableuse ; 8 : sable argileux coquillier beige ; 9 : coquilles ; 10 : sites néolithiques et monuments lithiques ; N1 : niveau haut (ca 310-315m) ; N2 : niveau bas (ca 300-305m) ; T1 : vieux glaciais ; T2-T4 : glaciais-terrasses du Quaternaire supérieur.



glacis d'ablation très disséqué et se raccordant plus ou moins aux cônes d'éboulis. Il semble correspondre fréquemment à un niveau d'érosion limitée par une couche dure du Crétacé supérieur qui fournit un bon repère local. Vers l'aval, il passe à une terrasse composée d'éboulis et surtout de sables. Cette hétérogénéité est probablement représentative des nombreux épisodes morphoclimatiques qu'a connus cette région au Plio-Quaternaire et dont plusieurs seraient enregistrés là. Ce niveau est généralement recouvert d'éléments ferrugineux provenant de la dalle sommitale et qui montrent un granoclassement de l'amont vers l'aval, depuis les blocs jusqu'aux graviers.

b) les formations récentes. En-dessous, 5 à 10 mètres plus bas, un second niveau plus récent (T2, fig. 17), est bien visible dans le paysage malgré sa plus faible extension. Il est essentiellement constitué de sable beige à brun-ocre, et est souvent couvert d'une couche centimétrique de graviers ferrugineux à patine noire. Ces graviers, localement consolidés par un ciment ferrugineux, peuvent former une couche superficielle dure. En un point (site 20), nous avons observé, 0.1 à 0.2m sous la couche gravillonnaire, des coquilles de grands lamellibranches (*Mutela sp.*), en position de vie. Ces coquilles ont été datées de 7725 ± 80 BP. Leur alti-

tude, estimée proche de 310-315m, correspondrait donc à un très grand lac. En un autre point (site 21), quelques mètres plus bas, a été observé une lumachelle à matrice sableuse, indurée par du carbonate et du fer. Cette lumachelle comporte deux couches séparées par un niveau centimétrique noir, riche en fer. La première couche a été datée à la base de 8320 ± 240 BP et de 6760 ± 170 BP au sommet. Ce grand lac pourrait donc correspondre à l'optimum climatique de l'Holocène inférieur. Sur le site 20, dix mètres environ sous le niveau à grands lamellibranches, d'autres coquilles ont été observées sur un bas glacis. Nous avons ainsi reconnu *Bellamyia sp.*, *Melania sp.* et *Caelatura sp.* qui sont disposés essentiellement sur la couche gravillonnaire consolidée, et pour certains en voie de consolidation dans cette même couche. Une datation sur *Caelatura sp.* a donné 7160 ± 80 BP. Il peut donc s'agir de dépôts marquant un bas niveau du grand lac holocène.

Par ailleurs, localement (site 21), le sable du niveau T2 est induré en surface, sur 0.3m environ, par une cimentation ferrugineuse qui moule des traces végétales ou de circulations d'eau formant des tubulures. La présence de cette cuirasse d'hydromorphie indique, lors de sa formation, des circulations obliques d'eaux de nappes riches en fer et le maintien prolongé d'un engorgement temporaire avec développement d'une végétation herbacée dense (Hervieu, 1977). Le niveau T2 évoque donc, par sa position topographique comme par sa carapace à tubulures, la terrasse moyenne décrite dans l'Aïr et dans d'autres secteurs du Niger (Morel 1985a). Cet encroûtement ferrugineux se serait réalisé dans le bassin du Tchad vers 6000-4400 BP (Hervieu, 1977 ; Maley, 1981). Le niveau T2 aurait donc été constitué avant 6000 BP environ ; sa mise en place aurait débuté au pléistocène supérieur, son achèvement étant contemporain du grand lac holocène et son cuirassement immédiatement postérieur.

Sur le bas niveau du site 20 (305-300m), par dessus la couche gravillonnaire indurée, on observe localement un dépôt sablo-argileux beige qui contient également des coquilles (lamellibranches et gastéropodes) sur toute son épaisseur (jusqu'à 0.3m), ainsi qu'en surface. Ce dépôt étant très peu induré a été très érodé et les coquilles des différents niveaux se retrouvent mélangées sur la couche gravillonnaire ce qui en rend l'échantillonnage difficile. Néanmoins, des *Melania sp.* apparemment en place y ont été datées de 4765 ± 80 BP. Sur le site 21, le niveau supérieur de la lumachelle qui pourrait être contemporain de ce dépôt sablo-argileux, a été daté de 4440 ± 220 BP. Ce second lac était donc également très grand.

Le quatrième et dernier niveau (T4, fig. 17) correspond à un glacis en pente douce vers la zone encore inondable de la cuvette. Il est constitué de sable meuble beige comportant localement une partie superficielle

plus argileuse, brune. Il porte une couverture peu dense de graviers ferrugineux. Ruissellement et actions éoliennes tendent fréquemment à mélanger ces divers constituants en surface. Aux abords de la mare, le sable beige passe à un paléosol. Il s'agit d'un sable argileux brun-noir peu induré qui peut former une banquette de quelques décimètres au-dessus du fond de la mare dont il constitue ainsi la rive.

Enfin, indifférents à la topographie, on observe localement des plages récents et peu épais de sable blanc à beige. Le domaine dunaire vrai ne commence qu'au Nord du secteur inondable. Il s'agit de sable ocre à rouge devenant beige à blanc avec les remaniements superficiels, car il est généralement très peu induré. Néanmoins, dégagé par l'érosion apparaît localement un paléosol constitué de sable argileux brun plus induré. On note des amas coquilliers discontinus dont la disposition en bandes parallèles suggère la trace d'anciens rivages. Trois niveaux, au moins, ont été repérés. Deux bien marqués vers 315-310m et 305-300m et un troisième en position intermédiaire.

Les sites archéologiques

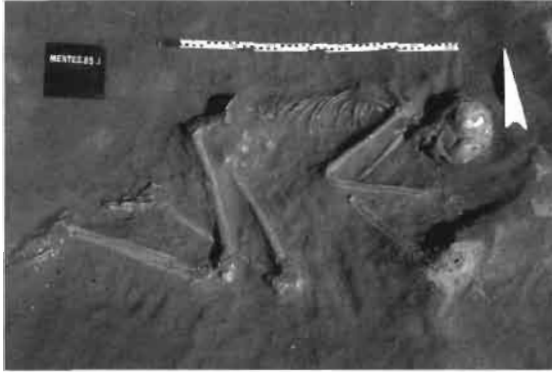
Nous avons identifié 17 sites avec des traces d'occupation humaine, tous implantés sur la rive ensablée à l'Ouest et au Nord de la cuvette à l'exception de quelques tumulus (fig. 16). Nous avons considéré comme sites toutes les concentrations de vestiges anthropiques distantes de plus de 500 m les unes des autres. Il nous est donc impossible de les confronter avec ceux découverts par Le Rumeur (1933) car il donne de l'occupation de la cuvette de Mentès une description globale. A ces dix-sept sites il faut ajouter deux gisements d'intérêt paléocéologique, situés sur les pentes de l'escarpement au Sud de la cuvette. Enfin, il faut aussi signaler trois ensembles, peu importants, avec des monuments lithiques.

MNTS 1 (16°59' ; 04°18'E). Ce petit gisement se trouve presque en bordure de la mare actuelle, quelques mètres au-dessus du fond de la dépression, soit vers 300m au plus. L'industrie lithique d'allure néolithique est peu abondante ; la céramique semble absente. On trouve quelques vestiges de faune. Nous avons entrepris la fouille d'une sépulture humaine partiellement mise au jour par l'érosion. Le squelette, d'allure féminine (gracilité, échancrure sciatique), est inhumé en décubitus latéral gauche demi-fléchi, la tête vers l'Est et les pieds vers l'Ouest ; on recueille une perle sous le crâne. Les os sont très mal conservés (photo 2).

Les prélèvements effectués pour la faune ont permis d'identifier des Bovinés (*Syncerus caffer*), de l'hippopotame, des poissons (*Lates niloti-*

cus, *Tilapia sp.*, *Bagrus sp.*, *Bagrus bayad*) et des mollusques aquatiques (*Melanoides tuberculata*, *Bulinus truncatus*).

Photo 2 : sépulture de Mentés 1



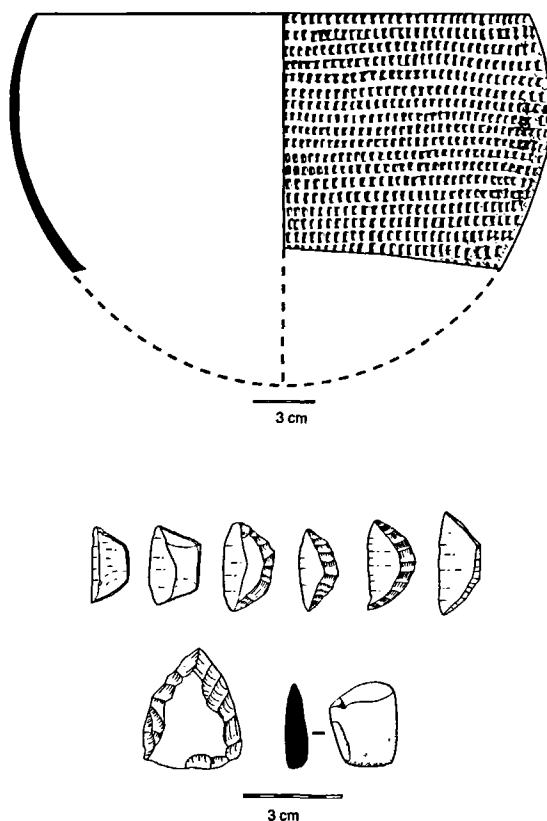
Le squelette humain a été prélevé pour datation. Dans un premier temps nous avons daté les carbonates secondaires libérés lors du prétraitement, largement dominants dans la structure osseuse (1.1 % en carbone). La valeur du $\delta^{13}\text{C}$ est de -0.7 ‰ et l'activité ^{14}C correspondante est de 106.6%, c'est-à-dire supérieure à l'activité ^{14}C en 1950, année de référence de la méthode. Cette présence du ^{14}C lié aux explosions thermonucléaires peut être due à des cristallisations secondaires en relation avec les pluies supérieures à la normale des années 1950 et 1960. La datation du carbonate-hydroxylapatite purifié (0.17 % en carbone) a fourni un âge de 2740 ± 100 BP (Pa 1624; âge calibré : 992-806 BC, 1 σ), et son $\delta^{13}\text{C}$ est de -6.5 ‰.

MNTS 2 (16°58' ; 04°18'E). Sur ce petit site implanté vers la cote 300 de la carte IGN, 2 km au SW du n°1, les traces d'occupations sont diffuses (éclats, rares armatures, tessons néolithiques). On observe aussi un squelette mis au jour par l'érosion, trop mal conservé pour des observations d'ordre taphonomique ou anthropologique. Des coquilles de lamellibranches sont disposées selon une bande susceptible de marquer la position d'un rivage.

Collecte de mollusques aquatiques (*Caelatura sp.*).

MNTS 3 (16°58' ; 04°18'E). Ce petit site se trouve entre les gisements 1 et 2, sur la même « ligne de rivage » (vers 300m). Les vestiges d'occupation sont diffus ; l'industrie lithique est surtout représentée par des segments de cercle, des armatures de flèche, de petites haches polies.

FIGURE 18 : céramique et industrie lithique de Mentès 3



La céramique est rare et éolisée ; une forme a toutefois pu être restituée graphiquement. Il s'agit d'un vase décoré au peigne, par impression directe (fig. 18). Nous avons pu observer, là aussi, deux sépultures plus ou moins dégagées par l'érosion. Le premier squelette est relativement bien conservé, bien que toute la partie inférieure ait disparu (Paris, 1996). Le corps est orienté Est-Ouest, face vers le Sud, couché sur le côté gauche. L'autre squelette, très abîmé, est orienté Ouest-Est, face vers le Sud, couché sur le côté droit. Ses dents montrent qu'il s'agit d'un sujet relativement jeune, bien qu'adulte, puisque les 3^e molaires, sans facette d'usure, sont sorties. Ces squelettes se distinguent de ceux du Néolithique de l'Ighazer, comme ceux de Chin Tafidet (Paris, 1996), par une plus grande gracilité du crâne comme du squelette post-crânien.

Prélèvements sur l'industrie lithique et le matériel céramique.

MNTS-Nord. Il s'agit d'un site bas isolé, échantillonné en 1979 et donc mal repéré par rapport aux sites échantillonnés en 1985. Ce site peut correspondre à MNTS 1 ou MNTS 3, ou encore être situé entre les deux. Des coquilles de *Caelatura sp.* ont été datées de 5220 ± 180 BP (Orsay-1660 ; $\delta^{13}\text{C} = 2.19\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -4.14\text{‰}$). Elles proviennent d'un amas anthropique qui contenait aussi de l'hippopotame et *Lates sp.*

MNTS 4 ($16^{\circ}59'$; $04^{\circ}18'E$). Ce gisement, un peu plus étendu que les précédents, est implanté vers 315m, près du premier cordon dunaire important, de direction EW, au sud-ouest de la mare. On remarque des amas coquilliers en bordure de site, mais ces accumulations sont naturelles et forment une bande susceptible de représenter un ancien rivage. La céramique est rare, éolisée. L'industrie lithique est à dominante microlithique (segments de cercles), avec quelques armatures de flèche. On remarque un fragment de bracelet en pierre (fig. 19.1).

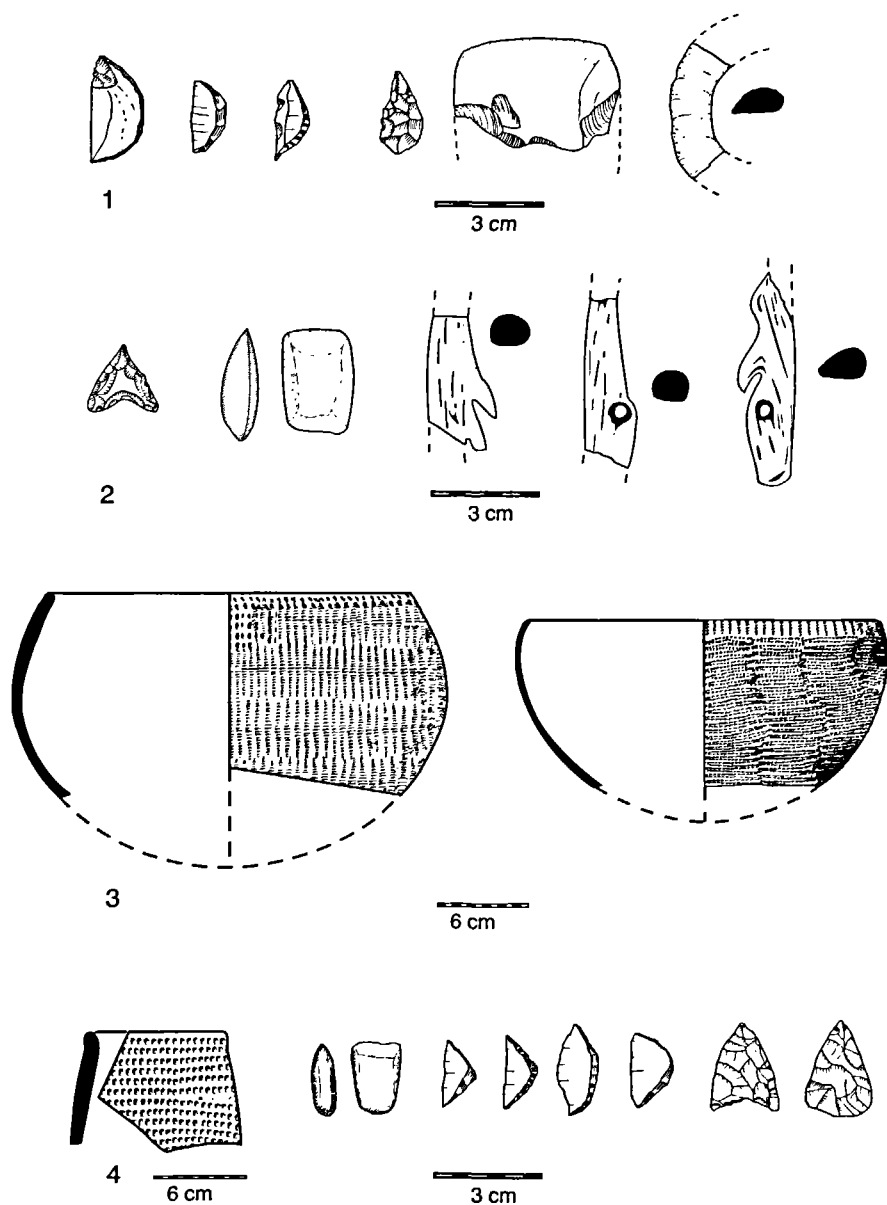
Prélèvements sur l'industrie lithique et le matériel céramique. Les prélèvements de faune permettent d'identifier des buffles (*Syncerus caffer*), de l'hippopotame, du phacochère, un oviné, de l'antilope (?), des mollusques aquatiques (*Caelatura lacoini* et *Mutela sp.*). Datation sur *Caelatura lacoini* (Pa1610) de 6120 ± 120 BP ($\delta^{13}\text{C} = +0.8\text{‰}$ et $\delta^{18}\text{O} = -4\text{‰}$).

MNTS 5 ($16^{\circ}59'$; $04^{\circ}18'E$). Le site se trouve à 800 m au nord du site 4, sur le même niveau altimétrique (vers 315m). Les coquilles de mollusques aquatiques sont assez nombreuses et paraissent constituer une ligne de rivage. Le matériel archéologique est plus abondant et de répartition plus dense. L'outillage est à tendance microlithique ; on trouve aussi des armatures de flèches, quelque petites haches polies et des fragments de harpon en os (fig. 19.2). Le matériel céramique est rare, non décoré.

Prélèvements sur l'industrie lithique et le matériel céramique. Les prélèvements de faune permettent d'identifier du *Bos africanus* (sous réserve et sans preuve de domestication), de l'hippopotame, du phacochère et des mollusques aquatiques (*Unionidae* et/ou *Mutelidae*, *Mutela sp.*, *Caelatura sp.*, *Corbicula africana*, *Melanoides tuberculata*). Datation de 5225 ± 80 BP sur coquilles de *Caelatura sp.*

MNTS 6 ($17^{\circ}01'$; $04^{\circ}19'E$). Ce site est implanté vers 315m, près de l'extrémité orientale du second cordon dunaire, à environ 4 km au nord-est du site n°4. Comme sur le site n°5, des coquilles de mollusques aquatiques paraissent constituer une ligne de rivage. Le matériel lithique est composé de microlithes, d'armatures, de grattoirs sur lame et de haches polies. Les tessons de poterie sont assez bien conservés et permettent de

FIGURE 19 : céramique et industrie lithique de Mentés 4, 5, 6 et 7



restituer deux formes de pot, décorés au peigne par impression pivotante et directe (fig. 19.3). Le dégraissant dominant est minéral. Après la cuisson, la teneur moyenne en carbone organique des tessons est faible, de l'ordre de 0.3 %, et les valeurs des $\delta^{13}\text{C}$ associés sont de -22.0 ‰. Ils appartiennent à la classe C/C*/C définie par ailleurs (cf. Chronologie et Méthode de datation). Si l'on postule que les deux tiers du carbone organique ont été consommés lors de la cuisson, la matière première argileuse devait avoir une teneur en carbone comparable à celle des grandes mares actuelles en eau de la région de Niamey. Nous avons daté la matière organique de ces tessons ; leur âge moyen est de 4610 ± 180 BP (Pa 492). Cette mesure a-t-elle un sens puisqu'aucun lien chronologique ne relie la source de matière première argileuse et la fabrication de la céramique ? On peut cependant admettre que la source de matière première est à rechercher dans la couche sédimentaire superficielle des berges du lac lors d'un épisode lacustre. Par analogie avec les activités ^{14}C de la matière organique des sédiments des mares actuelles (tab. 2), un léger vieillissement apparent des âges est envisageable. Cette incertitude rend illusoire toute tentative de calibration de l'âge. Néanmoins, il eût été dommage de se priver d'une information chronologique, fut-elle approximative, compte tenu de leur rareté.

Prélèvements sur l'industrie lithique et le matériel céramique. Les prélèvements effectués pour la faune, qui se trouve surtout en bordure de site, permettent d'identifier du buffle (*Syncerus caffer*), de l'hippopotame, du phacochère, des restes d'oviné, d'antilope, du crocodile (mais pas de tortue) et du poisson (*Lates niloticus*).

MNTS 7 (17°01' ; 04°19'E). Ce gisement assez étendu se trouve à 600 m du site n°6, au même niveau altimétrique (vers 315m). Le matériel lithique est abondant ; les microlithes (segments de cercles) et armatures semblent prédominer ; on remarque aussi de rares grattoirs et haches polies, ainsi que des fragments de meule. La céramique est relativement rare, on observe quelques tessons décorés par impression directe de peigne (fig. 19.4). Elle est également à dégraissant minéral (classe C/C*/C). La datation de la matière organique globale ($\delta^{13}\text{C} = -18.6$ ‰, 0.2 % C) a fourni un âge de 4080 ± 250 BP (Pa 576) et nous émettons les mêmes réserves que pour les céramiques du site MNTS 6. Contrairement aux sites précédents, on ne trouve pas de mollusques aquatiques.

Prélèvements sur l'industrie lithique et le matériel céramique. Les prélèvements de faune permettent d'identifier du buffle (*Syncerus caffer*), de l'hippopotame, du phacochère, de l'éléphant, de la gazelle (*Parantidorcas latifrons* ?), du crocodile et du poisson (*Synodontis*).

MNTS 7b (17°01' ; 04°19'E). Ce gisement est situé sous le site n°7, vers la cote 300, environ 15m sous le niveau des sites 6 et 7. On y trouve de très nombreuses coquilles de mollusques aquatiques sans disposition particulière. On trouve également, mais beaucoup plus rares, des coquilles de mollusques terrestres qui représentent sans doute un épisode plus récent, après la disparition du milieu aquatique permanent. Il n'y a aucun vestige d'occupation humaine. Prélèvements de mollusques aquatiques (*Caelatura* sp., *Melanoides tuberculata*, *Cleopatra bulimoides*) et terrestres (*Limicolaria turrimiformis*). Des coquilles de *Melanoides tuberculata* ont été datées de 5390 ± 60 BP (Pa 1625; $\delta^{13}\text{C} = 1.09\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -3.64\text{‰}$).

MNTS 8 (17°01' ; 04°20'E). Ce petit site se trouve le long d'un cordon dunaire au Nord du lac, 2 km environ au Nord-Est du site 7. Le matériel archéologique est pauvre.

Prélèvements sur l'industrie lithique et le matériel céramique. Les prélèvements effectués pour la faune permettent d'identifier de l'hippopotame et de l'antilope.

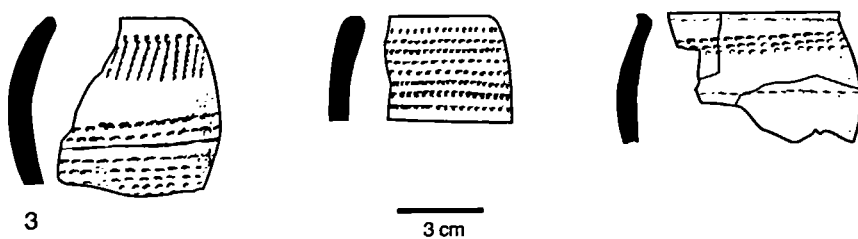
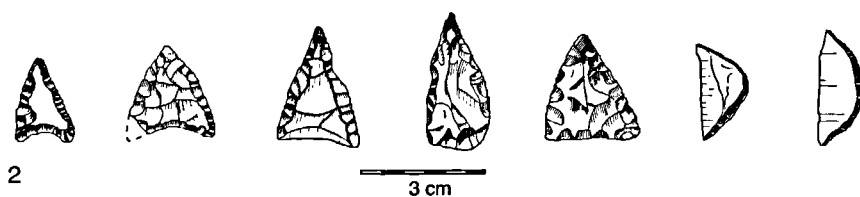
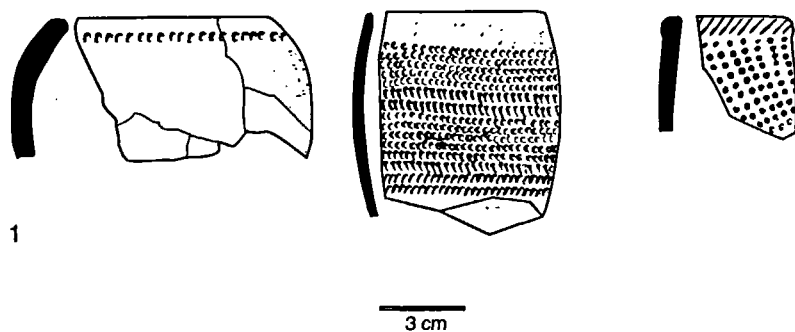
MNTS 9 (17°01' ; 04°21'E). Ce site se trouve le long du même cordon dunaire que le site 8, à environ 1 km à l'Est de ce dernier. Le matériel archéologique y est un peu plus dense, en particulier les grattoirs s'y remarquent plus qu'ailleurs. On note toujours la présence d'armatures et de petites haches polies. La poterie est rare (fig. 20.1).

Prélèvements sur l'industrie lithique et le matériel céramique.

MNTS 10 (17°01' ; 04°21'E). C'est le site le plus oriental de ce cordon dunaire. Le matériel archéologique est éparé et rare ; les éclats de quartz se remarquent particulièrement. L'occupation humaine se remarque surtout par la rubéfaction du sable et des concentrations de pierres rapportées. L'ensemble est d'allure récente, ce que confirment les quelques sépultures révélées par l'érosion en périphérie du site : l'orientation et la position des squelettes correspondent à la tradition islamique. Nous n'avons pas effectué de collecte sur ce gisement.

MNTS 11 (17° ; 04°18'E). Ce gisement se trouve à environ 1 km au Nord-Est du site n°5, vers 315 m. Par sa dimension et par la densité du matériel archéologique il est comparable au site n°7. Le matériel lithique paraît toutefois plus riche en armatures de flèche et l'on trouve quelques grattoirs. La céramique est très rare. Prélèvements sur l'industrie lithique. Les prélèvements de faune permettent d'identifier de l'hippopotame.

FIGURE 20 : céramique et industrie lithique de Mentés 9, 12 et 17



MNTS 12 (17° ; 04°18'E). Ce site de petite dimension se trouve à 600m du gisement n°11 sur le même niveau (vers 315m). Le matériel archéologique est essentiellement constitué par de l'industrie lithique, armatures, segments de cercle (fig. 20.2). On ne remarque pas de matériel céramique. Prélèvements sur l'industrie lithique.

MNTS 13 (17° ; 04°18'E). Ce site important se trouve à un peu plus de 1 km au Nord-Est du n°12, non loin du n°6, toujours vers le niveau 315m. Le matériel archéologique est abondant, tant pour le lithique que la céramique et la faune, mais il n'y a pas de coquilles de mollusques.

Prélèvements sur l'industrie lithique et le matériel céramique. Les prélèvements de faune permettent d'identifier du buffle (*Syncerus caffer*), de l'hippopotame, de l'ovicapriné et du phacochère. Datation sur des tessons à dégraissant minéral (classe C/C*/C; 0.3 % C, $\delta^{13}\text{C} = -19.4\text{‰}$) de 4590 \pm 130 BP (Pa 415).

MNTS 14 (17°01' ; 04°19'E). Ce site est très proche du n°13. Les restes de faune sont exceptionnellement nombreux mais on ne remarque pas de coquilles. Le matériel lithique est diffus, constitué essentiellement d'éclats bruts. On a trouvé quelques tessons éolisés montrant un décor par impression directe au peigne. L'abondance des restes osseux, la rareté de l'outillage nous font penser que ce site serait peut-être le dépotoir du gisement n°13.

Prélèvements sur le matériel céramique. Les prélèvements de faune permettent d'identifier un Bos grand et adulte, probablement *Taurus (primigenius ?)* ou *Bos praeafricanus*, de la gazelle, des restes de *Capra hircus* (?), du crocodile du Nil, du *Lates niloticus*.

MNTS 15 (17° ; 04°19'E). Ce site est implanté entre les deux niveaux repérés (vers 315 et 300m), au 1/3 supérieur de la dune, au Sud du site n°14. Son intérêt est plus d'ordre paléoécologique qu'archéologique *stricto sensu* puisque, comme sur le site 7b, on n'y trouve que des coquilles de mollusques aquatiques (*Unionidae* et/ou *Mutelidae*, *Caelatura lacoini*, *Melanoides tuberculata*). Datation sur *Caelatura lacoini* (Pa1611) de 6810 \pm 100 BP ($\delta^{13}\text{C} = +1.6\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -2.9\text{‰}$).

MNTS 16 (17°03 ; 04°24'E). Ce petit site a été repéré en 1985 sur le trajet Mentès-In Aruinat, dans la partie nord de la cuvette de Mentès. Le matériel archéologique est diffus, de même nature que celui observé sur les sites précédents (poterie rare, tendance microlithique). Nous n'avons pas fait de collecte.

MNTS 17 (17°04' ; 04°25'E). Ce site est un peu plus important que le n°16 ; la céramique en particulier y est mieux représentée. Prélèvements sur le matériel céramique (fig. 20.3).

MNTS 20 (16°58' ; 04°19'E). Ce gisement se trouve dans la partie basse et ferruginisée de l'escarpement qui borde la cuvette de Mentès au Sud. L'intérêt du site est d'ordre paléo-environnemental. Des dépôts coquilliers stratifiés sous et sur un niveau gravillonnaire induré, échelonnés sur la pente d'un glacis entre 310-315m et 300-305m, permettent de préciser l'histoire du lac holocène.

Les prélèvements effectués ont permis de déterminer : *Mutela sp.*, *Caelatura lacoini*, *Corbicula africana*, *Melanoides tuberculata*, *Cleopatra bulimoides*, *Bellamyia unicolor*. Datations sur *Mutela sp.*, vers 310-315m, de 7725 ± 80 BP ($\delta^{13}\text{C} = -0.84\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -3.43\text{‰}$) (Pa 1572) et sur *Caelatura lacoini*, vers 300-305m, de 7160 ± 80 BP ($\delta^{13}\text{C} = -2.12\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -3.08\text{‰}$) (Pa 1575). Datation sur *Melanoides tuberculata*, vers 300-305m, de 4765 ± 80 BP ($\delta^{13}\text{C} = 1.56\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -3.16\text{‰}$) (Pa 1573).

MNTS 21 (16°57' ; 04°21'E). Ce site se présente comme le n°20, mais les dépôts coquilliers constituent une véritable lumachelle. Deux niveaux ont été repérés. Dans le niveau inférieur, *Melanoides tuberculata* est dominant. Dans le niveau supérieur, *Mutela sp.* est dominant à la base et *Caelatura lacoini* au sommet. On observe un tumulus sur T1 et un sur T2 (cf. fig. 17).

Les prélèvements effectués ont permis de déterminer : *Mutela sp.* (*rostrata* ?), *Caelatura lacoini*, *Corbicula africana*, *Melanoides tuberculata*, *Cleopatra bulimoides*, *Bellamyia unicolor*, *Biomphalaria pfeifferi*, *Bulinus truncatus*. Le niveau inférieur a été daté à la base de 8320 ± 240 BP (Orsay-1764 ; $\delta^{13}\text{C} = -1.26\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -2.93\text{‰}$) et au sommet de 6760 ± 170 BP (Orsay-2638 ; $\delta^{13}\text{C} = -4.55\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -3.5\text{‰}$). Le niveau supérieur a été daté de 4440 ± 220 BP (Orsay-2552 ; $\delta^{13}\text{C} = +3.68\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -2.52\text{‰}$).

L'occupation holocène de la cuvette de Mentès

Tous les habitats néolithiques de la cuvette de Mentès, à l'exception des gisements n°16 et 17 situés à l'extrême limite nord de la dépression, se concentrent sur une surface délimitée par une ellipse de 8 x 2 km. De plus, les sites sont implantés sur deux niveaux correspondant approxima-

tivement aux cotes 310-315m et 300-305m. On pouvait donc légitimement se demander si les deux niveaux d'habitat observés étaient susceptibles de correspondre à deux périodes d'occupation distinctes liées à deux épisodes lacustres différents.

L'évolution du lac. Les dépôts de bas niveau sont quelques mètres au-dessus du fond de la partie inondable de la cuvette actuelle. Les dépôts de haut niveau sont quelques mètres en-dessous du seuil d'écoulement de la cuvette vers l'Azawagh. Ce seuil correspond au point coté 318m dans le grand couloir interdunaire situé au Nord de la cuvette (fig. 16). Ces altitudes sont approximatives car nous avons ajusté les mesures prises sur le terrain avec un altimètre par rapport aux courbes de niveaux de la carte IGN au 1/200 000. Par ailleurs, les datations faites sur des coquilles de mollusque nous indiquent bien deux épisodes lacustres principaux. Le plus ancien (8320 ± 240 à 6760 ± 170 BP) correspond au grand humide de l'Holocène inférieur. Le plus récent (6120 ± 120 à 4440 ± 220 BP) correspond à l'Holocène moyen. Mais les dépôts lacustres datés de l'Holocène ancien et moyen se retrouvent placés indifféremment par rapport à l'altitude. On doit donc envisager la succession de plusieurs épisodes lacustres ayant chacun connu d'importantes variations de niveau allant du quasi assèchement à la crue exceptionnelle permettant une liaison occasionnelle avec le réseau de l'Azawagh. De ce fait, un même cordon coquillier pourrait avoir été constitué lors de plusieurs épisodes lacustres différents, à l'exemple de la lumachelle du site 21.

Ce lac devait en tout cas être profond, compte tenu des restes de faune aquatique qui lui sont associés, poissons (*Lates niloticus*) et mollusques. Pour F. Mouchet, deux espèces, *Caelatura lacoini* et *Melanoides tuberculata* dominent largement. On note la présence de prosobranches absents des autres sites du bassin de l'Azawagh : *Cleopatra bulimoides* et *Bellamya unicolor*. Cette dernière espèce ne se rencontre actuellement que dans les milieux aquatiques ne s'asséchant jamais. L'ensemble des espèces présentes et particulièrement la présence de grands *Mutelidae*, dont un *Mutela* sp. de 130mm en assez bon état de conservation (MNTS 21), correspond à un plan d'eau pérenne, probablement assez profond et peut-être avec un léger courant. Les rares pulmonés présents (*Bulinus truncatus* et *Biomphalaria pfeifferi*) ont été trouvés surtout dans le sédiment à l'intérieur des bivalves.

Les sites du niveau inférieur (cote 300-305). Nous avons identifié, pour ce niveau, quatre sites d'habitat, de petite dimension et assez abîmés par l'érosion (MNTS 1, 2, 3 et MNTS Nord). Ni le matériel céramique, dont les décors sont particulièrement dégradés par l'érosion, ni l'industrie lithique, ne permettent de les distinguer des autres gisements. Sur

deux de ces sites nous avons pu observer des sépultures mises au jour par l'érosion. Deux datations obtenues, l'une sur des coquilles provenant d'un amas anthropique (5220 ± 180 BP), l'autre sur un squelette humain (2740 ± 100 BP) indiquent au moins deux périodes d'occupation.

Les sites du niveau supérieur (vers 310-315m). C'est le niveau où l'on trouve le plus de sites : onze (MNTS 4 à 14). Ils sont dans l'ensemble plus grands et moins atteints par l'érosion que ceux du niveau inférieur. Les sites n° 6, 7, 11, 13 et 14 en particulier, se distinguent par leur importance. Il existe, certes, de petites différences dans les concentrations de matériel : sur certains gisements, la faune (mammifères, poissons) est plus abondante, sur d'autres on ne trouvera pas de coquilles de mollusques, mais il ne nous a pas été possible de les distinguer par leur culture matérielle. Les harpons, pourtant signalés nombreux par Le Rumeur, sont rares. Nous n'en avons vu que sur un seul site (MNTS 5). On constate aussi la rareté du matériel de broyage (meules, molettes, broyeurs). La céramique, bien que toujours présente, est loin d'être aussi abondante que sur les sites de l'Ighazer ou de la vallée de l'Azawagh. L'industrie lithique se caractérise par la prédominance des microlithes, essentiellement représentés par des segments de cercle. Les armatures de flèche sont aussi assez fréquentes. Le matériel poli est rare, de petite taille. Dans l'ensemble les grosses pièces sont exceptionnelles. Enfin, sur aucun de ces gisements, nous n'avons remarqué de structures particulières (foyers, pierres de calage divers). Les datations, effectuées sur des tessons (MNTS 6, 7 et 13) ont donné des âges comparables (4610 ± 180 BP, 4590 ± 130 BP et 4080 ± 250 BP). Nous attendions, vu l'allure du matériel lithique, des âges plus anciens. Peut-on penser qu'il y a eu mélange des couches archéologiques ? Les restes de mammifères montrent la présence constante de bovidés sauvages, où *Syncerus caffer* domine, et d'hippopotames. On constate que nous n'avons pas trouvé de reste d'animaux domestiques.

En conclusion partielle, le niveau d'habitat le plus dense correspond au plus haut niveau. Il est daté sur tessons de poterie de 4600 à 4100 BP environ, soit de la fin du dernier grand épisode lacustre daté dans la cuvette de Mentès. Les sites du niveau bas sont plus rares et ont été très certainement beaucoup plus atteints par l'érosion que ceux qui sont implantés plus haut dans les dunes. La mise au jour des sépultures sur ces sites bas, alors que nous n'en avons pas trouvées sur les sites hauts, est la preuve de cette dégradation. Il est donc tentant de considérer ces sites bas comme étant globalement plus anciens, en accord avec la datation de 5200 BP environ sur un amas anthropique. Dans les deux cas, on ne peut

cependant exclure des réoccupations que rien ne permet de distinguer *a priori*, comme le montre l'inhumation datée de 2700 BP environ. Une première occupation des sites hauts dès 5200 BP est possible.

Par ailleurs, les habitants de cette région, même à une date aussi basse, ne semblent pas avoir pratiqué l'élevage, que ce soit des gros ou des petits ruminants. Leur alimentation est basée sur la chasse et la pêche. Le matériel de broyage est rare, l'outillage de type microlithique avec armatures de flèches. L'occupation semble s'être concentrée sur une zone bien précise de la bordure ouest de la cuvette, qui n'excède pas 8 km dans sa plus grande longueur. Le nombre des sites que nous avons localisés ne correspond certainement pas à un nombre égal de campements : parfois nous avons eu l'impression que certains étaient liés et, par exemple, l'ensemble 6/7 et 13/14 pourrait ne faire qu'une seule et même grande aire d'occupation. Toutefois il nous semble exagéré de confondre tous ces sites en un seul comme l'a fait Le Rumeur.

Trajet Mentès - Eghes Nesibel (1979, 1984 et 1985)

De Mentès 17 nous prenons un cap Nord sur une quarantaine de km pour rejoindre la vallée de l'Azawagh à Eghes Nesibel (fig. 2 et 21). Juste avant d'arriver dans la « vallée » de l'Azuz, en rive gauche, nous voyons plusieurs dépressions, plus ou moins grandes, bordées par des dunes rouges. Il devait s'agir, à l'origine, d'une seule dépression, peut-être un bras de l'Azuz, morcelée ensuite par les ensablements. Le fond de ces petites dépressions est constitué de sédiments limoneux non carbonatés. Dans l'une d'elles, nous découvrons le squelette en connexion d'un hippopotame (17°06'N ; 04°25'E). Les os sont très abîmés ; fragmentés en minuscules esquilles, ils se délitent au moindre contact. Leur surface montre une coloration verdâtre, comme s'ils avaient fixé un oxyde de cuivre. Nous ne faisons pas de prélèvements.

Sur la partie haute des pentes de certaines des dunes qui bordent ces dépressions, nous repérons de légères traces d'occupation néolithiques, essentiellement constituées de quelques tessons de poteries et d'éclats. Les fragments de coquille d'œufs d'autruches sont fréquents. Nous ne faisons pas de prélèvements qui seraient « pénalisants » pour une étude ultérieure.

La « vallée » de l'Azuz, du moins dans le secteur où nous la traversons, est aussi peu marquée et tout aussi ensablée que celle de l'Azar. Nous remarquons ensuite, sur les dunes qui bordent au Sud le petit escarpement de Tadreitlat (17°15'N ; 04°28'E), des traces d'occupation diffuses, comparables à celles vues précédemment (céramique, éclats,

FIGURE 21 : Localisation des sites de la région d'In Aridal à Tin Wada.

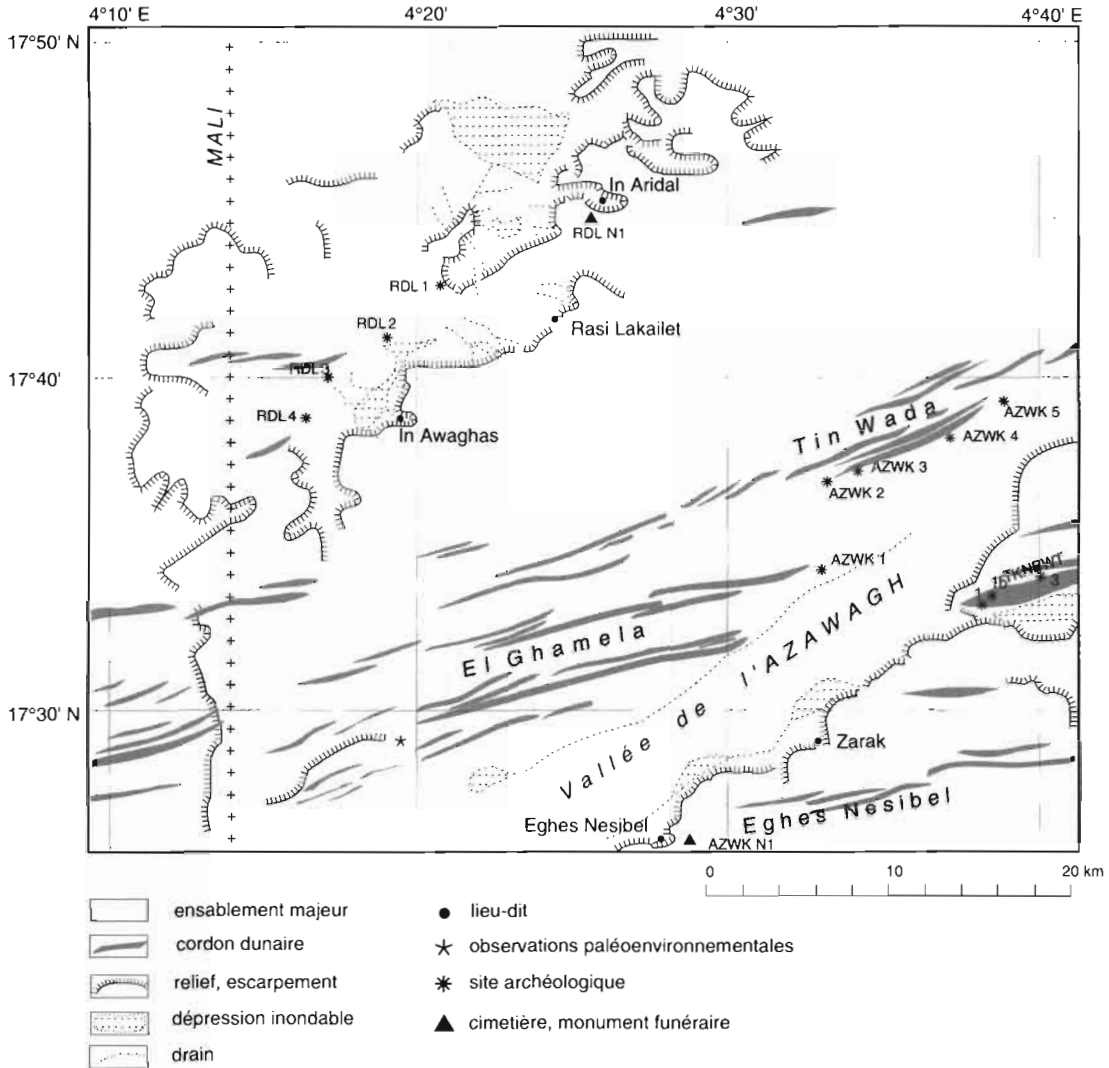
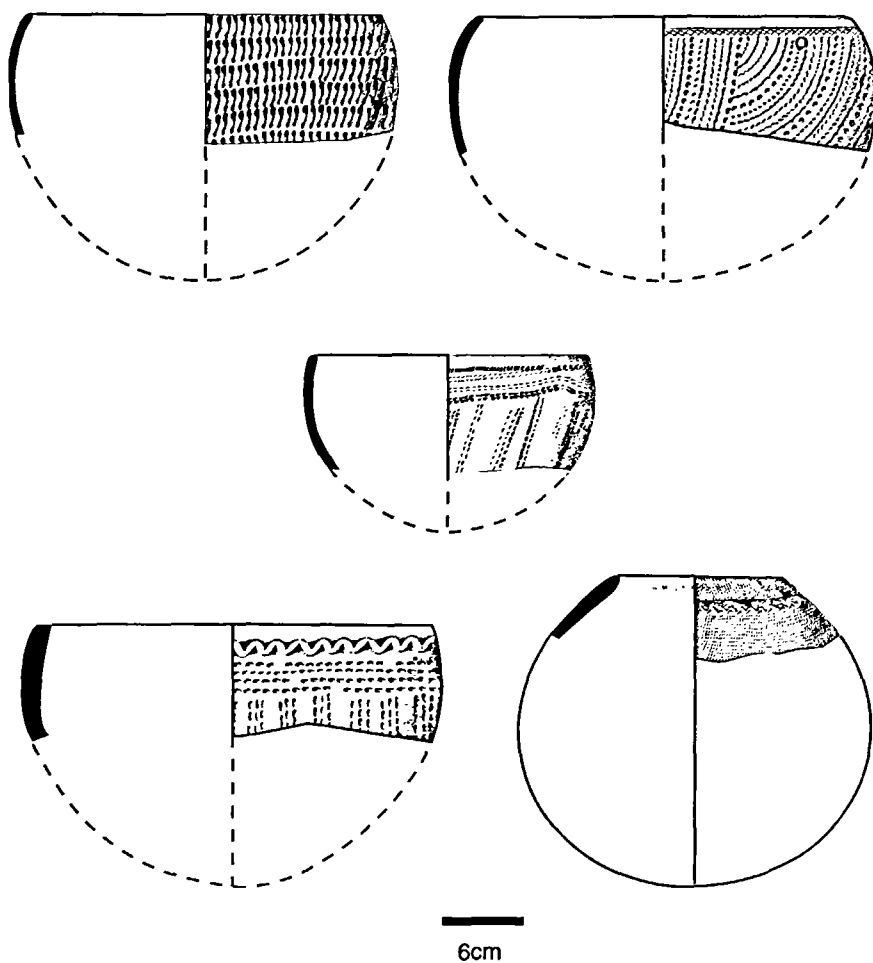


FIGURE 22 : exemples de poteries de la vallée de l'Azawagh (AZWK 1)



armatures de flèche, mais très peu de faune), qui semblent traduire une occupation éphémère.

Les sites de la vallée de l'Azawagh

Trajet Eghes Nesibel - In Aruinat (1979, 1984, 1985)

AZWK N1 (17°27'N ; 04°27'E). Aux abords d'Eghes Nesibel (fig. 21) apparaissent de nombreux monuments funéraires, dont deux tumulus en croissant et une grande bazina, implantés sur les escarpements relativement bas qui dominent la zone des puisards. Les autres monuments sont du type tumulus simple.

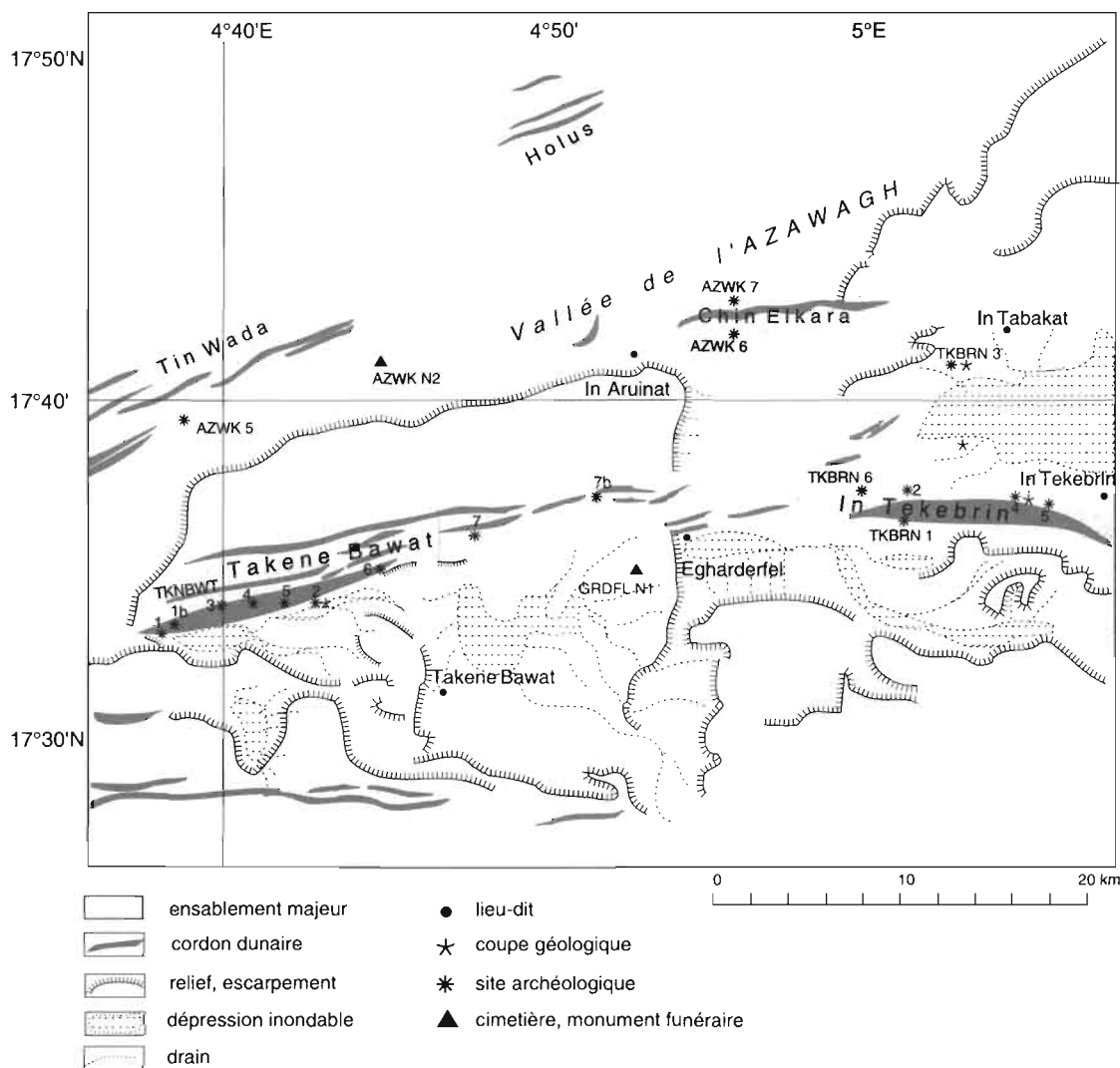
AZWK 1 (17°34'N ; 04°32'E). Environ à 18 km au Nord-Est d'Eghes Nesibel, nous localisons un site néolithique très étendu (120m x 40m) (1) implanté à l'extrémité est d'une grande dune rouge appartenant au massif dunaire de El Ghamela, qui borde la rive droite de l'Azawagh. Il se distingue de ceux vus jusqu'alors, par la grande quantité de tessons de poteries et de fragments de tests d'œufs d'autruches éparpillés sur toute sa surface ; le matériel lithique, en revanche, semble moins dense : nous ne voyons que peu d'armatures, quelques grattoirs, des éclats retouchés et des lames, quelques broyeurs. Le matériel céramique (fig. 22), par ses décors, évoque celui du néolithique de l'Ighazer wan Agades.

Une poterie a été prélevée. Les prélèvements de faune ont permis d'identifier du phacochère, de l'autruche (œufs) et du buffle (*Syncerus caffer*).

AZWK 2 (17°37'N ; 04°33'E). Quatre km au Nord d'AZWK 1, toujours sur la rive droite de l'Azawagh mais sur un autre cordon dunaire, celui de Tin Wada (fig. 21), nous remarquons un site assez important (100 x 50 m) qui se distingue par la présence de meules. Le matériel archéologique est plus dense dans le bas de la pente. Les armatures nous paraissent, proportionnellement, plus nombreuses qu'ailleurs. Les tessons de poterie sont également assez abondants ; la faune est surtout représentée par des restes de ruminants et de phacochères. Nous n'avons pas effectué de collecte sur ce site, très semblable à AZWK 1 par le matériel archéologique observé.

(1) Les mesures données sont approximatives ; les sites ont été mesurés au pas étalonné. Il s'agit de donner un ordre de grandeur pour des gisements dont les limites sont souvent floues du fait de l'ensablement.

FIGURE 23 : localisation des sites de la région de Takene Bawat et In Tekebrin



Toujours sur le cordon dunaire de Tin Wada et sur une distance de 10 km, nous localisons trois autres sites néolithiques. Ils sont nettement individualisés, mais les vestiges que nous avons pu y observer sont comparables. Il s'agit très vraisemblablement de sites qui sont, sinon du même âge, du moins de la même période culturelle.

AZWK 3 (17°37'N ; 04°34'E). C'est le site le moins important par ses dimensions (60m x 40m). Nous y trouvons toutefois un fragment de bol ou vase en pierre. C'est la première fois que nous trouvons un exemple de récipient en pierre dans la vallée de l'Azawagh ; nous n'en avons pas trouvé non plus sur les sites de la cuvette de Mentès. Le fragment de bol en pierre a été prélevé (non dessiné, car la forme n'est pas graphiquement restituable).

AZWK 4 (17°38'N ; 04°36'E). C'est le site le plus important de cet ensemble, tant par ses dimensions (120m x 60m) que par la densité des vestiges (lithique, céramique, faune). Nous y avons aussi trouvé un fragment de bracelet de fer, mais étant donné l'allure générale du matériel archéologique sur ce site, nous considérons qu'il s'agit d'une pollution ponctuelle.

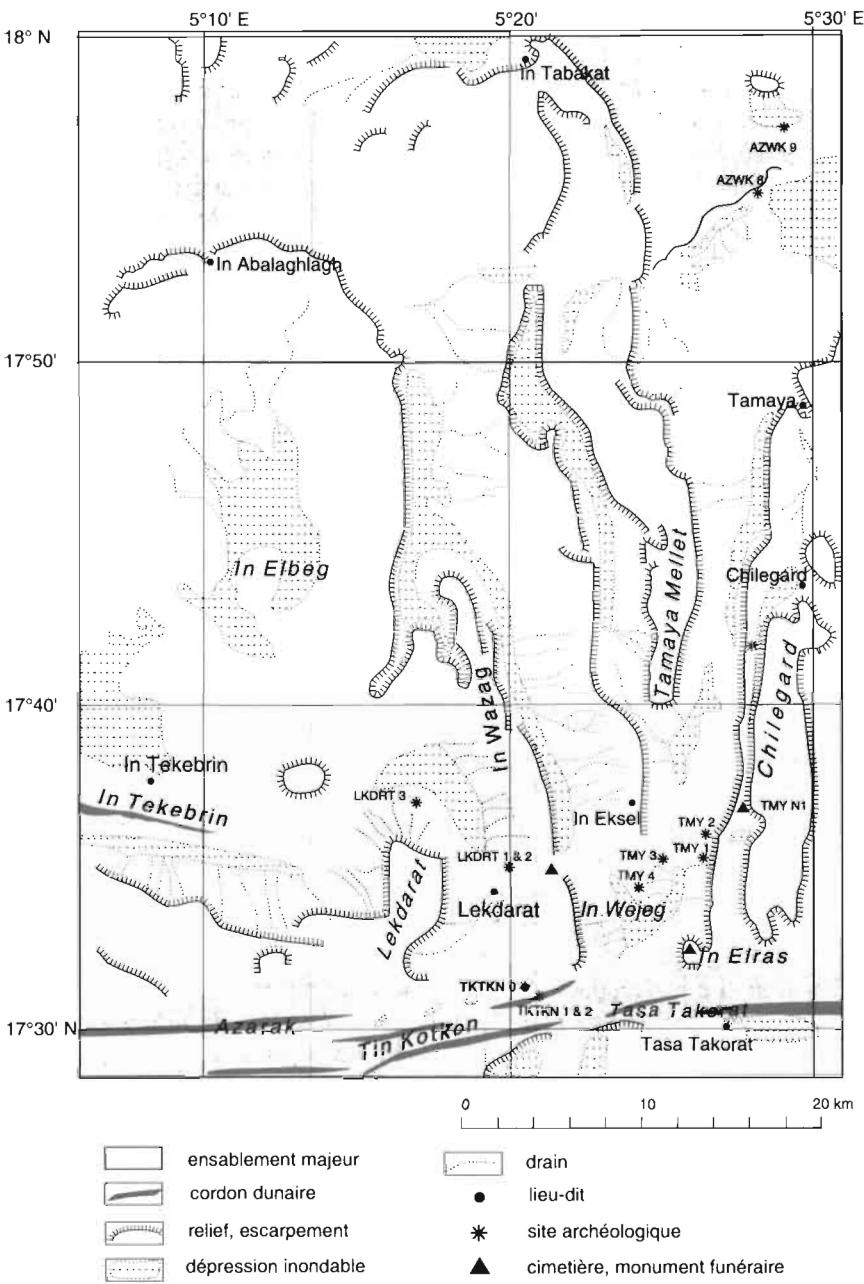
AZWK 5 (17°39'N ; 04°38'E). Ce gisement, peu étendu, est comparable par ses caractéristiques au site AZWK 3 (60m x 40m). Nous n'y effectuons pas de ramassage.

AZWK 6 (17°42'N ; 04°56'E). Ce petit site d'habitat néolithique (50m x 20m) est implanté sur la dune de Chin Elkara, 7 km au Nord-Est d'In Aruinat (fig. 23). Il fait face aux escarpements qui limitent, sur le côté gauche, la vallée de l'Azawagh. Nous y trouvons un crâne de guépard, mais son excellent état de conservation montre qu'il est nettement plus récent que le reste de la faune vue sur le site.

AZWK 7 (17°43'N ; 04°56'E). Deux km au Nord du site AZWK 6, sur ce même ensablement mais tourné vers la vallée de l'Azawagh, nous repérons un site d'occupation néolithique important (100m x 60m) avec un matériel archéologique relativement dense (poterie, lithique, faune) ; nous y observons aussi une sépulture humaine partiellement dégagée par l'érosion. Prélèvement de matériel lithique et céramique.

AZWK N2 (17°41'N ; 04°45'E). Dans le lit de l'Azawagh, en se dirigeant du site AZWK 5 vers le puits d'In Aruinat (fig. 23) nous rencontrons deux ensembles de structures rectangulaires (photo 3, hors texte),

FIGURE 24 : Localisation des sites de la région de Tamaya Mellet



comparables à celles vues à In Teduq (*cf. infra*). Ces deux groupes de sépultures sont construits dans une zone très ensablée de la vallée, au milieu d'un bosquet de *tamat* où nous voyons de nombreux chameaux et des troupeaux de chèvres et de bœufs.

Nous retraversons l'Azawagh et longeons sa rive droite en terminant la prospection de la partie orientale du massif dunaire de Tin Wada, puis nous continuons par le cordon dunaire d'Holus jusqu'au niveau de Tamaya. Nous voyons, tout au long de ce trajet, de nombreuses traces d'occupation néolithiques, surtout dans le secteur d'Holus. Nous n'effectuons aucun ramassage sur ces sites qui appartiennent à la même période culturelle que ceux vus précédemment à El Ghamela et Tin Wada. C'est sur la partie gauche de la vallée que nous avons repéré, lors d'une autre prospection, des indices intéressants.

La dépression de Tamaya

Nous avons prospecté en novembre 1984 la dépression de Tamaya qu'il ne faut pas confondre avec les sites globalement décrits par Le Rumeur et Lhote sous le nom de Tamaya Mellet, et qui se trouvent à une quarantaine de km plus au Sud, en bordure de la cuvette d'In Wejeg. La dépression de Tamaya proprement dite, du nom d'un ensemble de puisards encore utilisés, débouche sur l'Azawagh, avec lequel, cependant, elle ne communique pas, ou plus (fig. 24). Sur la rive occidentale de cette zone inondable, sur les ensablements qui envahissent les escarpements calcaires qui la délimitent, nous remarquons des vestiges archéologiques diffus. Toutefois, nous ne voyons que deux zones où les concentrations de vestiges sont telles que l'on puisse les considérer comme des sites d'occupation.

AZWK 8 (17°55'N ; 05°28'E). A un peu moins de 15 km au N-NE des puisards de Tamaya, nous remarquons des vestiges archéologiques diffus reposant sur une cuirasse de type « tapis-brosse » partiellement ensablée, en bordure de la dépression. Le site est assez étendu (90m x 50m). Le matériel lithique est plutôt rare mais les armatures de flèche sont assez bien représentées. La poterie est assez rare, éolisée avec des décors peu lisibles. La faune n'est représentée que par quelques dents isolées et mal conservées d'herbivores. Le gisement a du souffrir d'une érosion très active car nous trouvons aussi quelques dents humaines éparses, témoins très vraisemblables de sépultures totalement démantelées.

AZWK 9 (17°57'N ; 05°29'E). Trois km au NE du site AZWK 8, nous localisons un autre gisement, implanté sur une pente sableuse, au contact de la falaise, face à l'escarpement d'El-Ghennufa. Cette zone d'habitat est plus importante, tant par sa superficie (120m x 50m) que par la densité des vestiges. Les restes de faune sont plus nombreux et mieux conservés ; on remarque, en plus des grands et petits herbivores, du phacochère. Le matériel lithique est assez abondant ; nous remarquons en particulier des grattoirs circulaires de tailles variées (entre 5 et 2 cm de diamètre), des armatures de flèche diverses, quelques pièces polies dont des microhaches. La poterie, bien que très érodée, ne se distingue pas, par les décors, de celle vue jusqu'alors dans la vallée. Nous n'avons malheureusement pas trouvé de vestige datable par le radiocarbone.

Trajet Tamaya - In Aridal (1979)

Nous traversons ensuite l'Azawagh pour aller vers le Mont Tazerzaït au Nord-Ouest (18°20'N - 4°40'E). Sur l'escarpement d'In Tegedit qui borde la vallée (fig. 2), nous avons repéré de nombreux tumulus, du type à cratère et lentiforme, ainsi que des bazinas à alignement d'autels. Nous ne voyons pas de site d'habitat. Trois jeunes bergers (chameliers), rencontrés au puits d'In Dunan ⁽²⁾ qui est à sec, nous conseillent plutôt la région d'In Aridal (fig. 2). Nous suivons cet avis car la région du Tazerzaït se révèle trop éloignée pour l'autonomie dont disposons. Nous ne repérons aucune trace d'occupation néolithique entre In Dunan et In Aridal ; mais, comme nous ne pouvions nous permettre trop de détours par rapport au trajet fixé, cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas de sites dans cette région.

Les sites de la région In Aridal

RDL N1 (17°45'N ; 04°25'E). Aux puisards d'In Aridal (fig. 21), nous rencontrons de nombreux touaregs maliens qui abreuvant leurs troupeaux. Ce sont les premiers touaregs que nous rencontrons, les bergers vus à In Dunan étaient arabes. Sur la falaise qui domine la vallée des puisards au Sud, nous voyons un tumulus en croissant (photo 4, hors texte). En pros-

(2) Le puits indiqué est à sec, mais à 2 km de là nous trouvons des puisards où l'eau est à environ 2,50 m. C'est là que les chameliers abreuvant leurs troupeaux.

pectant vers le Sud-Ouest, tout en suivant le rebord de l'escarpement, nous en repérons trois autres, accompagnés d'au moins une dizaine de tumulus de type ordinaire.

RDL 1 (Site 20/11) (17°42'30"N ; 04°21'E). Ce gisement assez important (150 m x 80 m) est situé à l'extrémité sud-ouest de la dépression d'In Aridal. On y observe de nombreux tessons et un débitage abondant. Parmi le façonnage observé, nous remarquons plus particulièrement des petits grattoirs circulaires, des pièces foliacées à retouches bifaciales, des armatures de flèches, des haches polies de petite taille. Nous trouvons aussi des fragments d'ocre rouge. Les nombreux restes osseux attestent une faune abondante, surtout représentée par du phacochère, des petits et gros ruminants. Quelques coquilles d'*Unionidae* ou *Mutelidae*, situées sur la limite basse du gisement, traduisent l'existence d'une étendue d'eau à cet endroit. Plusieurs squelettes humains affleurent, presque totalement dégagés par l'érosion. L'un d'eux est recouvert de rondelles de tests d'œufs d'autruches perforées (photos 5 et 6, hors texte). Leur répartition particulière, sur l'ensemble du corps montrerait qu'il s'agit plutôt d'éléments de décoration d'un vêtement que d'un collier. Nous observons onze autres squelettes plus ou moins visibles mais nous ne pouvons noter les positions d'inhumation que pour sept d'entre eux (Paris, 1996). Leur état de conservation est très médiocre, aucun crâne n'est étudiable ni aucun os long mesurable. Tous sont en position fléchie, cinq reposant sur le côté gauche, deux sur le côté droit. Les orientations sont variables, deux vers le Sud, trois vers l'Est et deux vers l'Ouest, aucune vers le Nord. Toutefois, on ne peut bien sûr rien conclure quant aux coutumes d'inhumation, sur un si petit nombre d'observations.

Prélèvement d'ocre et échantillonnage (poterie, lithique). Nous avons daté les perles d'œufs d'autruche qui recouvraient le squelette de 5065 ± 100 BP (Pa 309 ; âge calibré : 3969-3766 BC, 1 σ). La valeur du $\delta^{13}\text{C}$ (-8.4‰) de ces coquilles est intéressante à comparer à celles provenant de Mauritanie ($\delta^{13}\text{C} = -5.5$ ‰ ; 3200 BP) et du Gilf Kebir en Egypte ($\delta^{13}\text{C} = -0.1$ ‰ ; 6500 BP). Cette dispersion importante est liée au régime alimentaire de ces animaux. Les autruches d'In Aridal ont pu se nourrir de graminées (cycle en C4, cf. *supra* : Méthode de datation) mais également de plantes en C3, comme le confirme la valeur du $\delta^{13}\text{C}$ (-8.4‰). En Mauritanie, vers 3200 BP, le couvert végétal était déjà appauvri en espèces végétales, les graminées dominaient, la nourriture était moins variée et la valeur du $\delta^{13}\text{C}$ des coquilles devient moins négative. En bordure du Wadi Akhdar, dans la région du Gilf Kebir il y a 6500 ans BP, les autruches se nourrissaient exclusivement de graminées, comme le prouve la teneur en ^{13}C de leurs coquilles ($\delta^{13}\text{C} = -0.1$ ‰). Ceci confirme indirectement l'aridité du climat du Gilf Kebir à cette période.

Une première tentative de datation sur le carbonate total du squelette confirme la présence massive de calcite dans la structure osseuse (1.33 % en carbone minéral et une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ de -0.9 ‰) ; l'âge obtenu est de 1490 ± 80 BP (Pa 279). Ces mesures démontrent que ces précipitations secondaires, liées aux fluctuations hydrologiques de l'environnement, s'effectuent au voisinage de l'équilibre isotopique avec le CO_2 atmosphérique. L'âge est sans signification chronologique. Après prétraitement (*cf. supra* : Méthode de datation), la teneur en carbone minéral de l'os tombe à 0.6 % et la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ correspondante est de -5.3 ‰. Les mêmes mesures ont été réalisées sur l'émail dentaire d'une molaire du squelette, elle aussi prétraitée, soit 0.6 % en carbone et une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ égale à -5.42 ‰. La structure cristalline de l'émail dentaire est différente de celle de l'os, sa porosité est faible et donc plus résistante aux échanges éventuels avec les carbonates de l'environnement. Nous trouvons les mêmes valeurs pour les teneurs et les $\delta^{13}\text{C}$ ce qui confirme l'efficacité de nos prétraitements. Cette efficacité est également démontrée par la datation des restes osseux purifiés de 5010 ± 120 BP (Pa 1614 ; âge calibré : 3946-3699 BC, 1σ), très proche de celle obtenue grâce aux perles d'œufs d'autruche.

Nous parcourons la bordure occidentale de cette cuvette jusqu'à la latitude d'In Aridal sans rien remarquer, puis nous retournons vers le Sud. Là, nous trouvons quelques petits sites installés sur des lentilles de sable, qui occupent tout le milieu de la partie sud de la cuvette. Ces petits gisements sont certainement postérieurs au site RDL 1 puisque celui-ci était en bordure d'un lac qui devait occuper toute la dépression. Ces sites sont donc probablement à rattacher au dernier humide du Néolithique final (4000-3500 BP), mais nous n'avons pas trouvé de vestiges datables pour confirmer cette hypothèse. Notre itinéraire nous conduit ensuite vers le Sud-Ouest, vers les dépressions de Rasi Lakaillet et In Awaghas (fig. 21).

RDL 2 (17°41'N ; 04°19'E). A l'extrémité ouest de la dune, à la latitude des puisards abandonnés de Rasi Lakaillet, nous arrivons sur un site assez étendu, en bordure de la dépression. Nous remarquons deux types de cuirasse « tapis-brosse » qui traduisent probablement deux épisodes climatiques. Les vestiges archéologiques sont abondants. Le lithique, avec un débitage important, se caractérise par un matériel poli relativement abondant et varié (hache, gouges, pièces fusiformes, bracelets). On trouve aussi des grattoirs de formes diverses, des lames et lamelles retouchées. En revanche, les armatures de flèches sont plutôt rares. La céramique est bien représentée, nous repérons même une très grosse poterie « entière », qui affleure par son ouverture, mais que nous ne dégageons pas. Ramassage de matériel lithique et céramique.

Nous arrivons dans la dépression d'In Awaghas, où les puisards sont totalement abandonnés. Un peu de végétation marque toutefois le fond de cette cuvette. L'occupation humaine s'est faite, au Néolithique, sur les pentes sableuses du massif dunaire qui recouvre les affleurements calcaires qui délimitent la partie ouest de la dépression. Nous localisons deux sites, comparables à ceux vus dans le secteur d'In Aridal : **RDL 3** (17°40'N ; 04°17'E) et **RDL 4** (17°39'N ; 04°16'E). Environ à une vingtaine de km au Sud du site RDL 4, avant d'arriver dans la vallée de l'Azawagh, nous repérons des vestiges de « terrasses » anciennes démantelées par l'érosion, sur lesquelles on voit de nombreux limicolaires fossiles (17°29'N ; 04°19'E).

La dépression de Takene Bawat

Cadre géographique et géologique

Le substratum de cette région est constitué par les dépôts du Crétacé (*cf. infra* Tamaya Mellet). Au Nord, l'érosion a dégagé les calcaires blancs du Turonien supérieur qui forment une falaise en rive gauche de l'Azawagh (fig. 23). En raison d'un pendage général vers le SW, au Sud de la région apparaissent des calcaires du Sénonien qui surmontent ceux du Turonien et constituent une deuxième cuesta. Compte-tenu de la pente vers le SW et de la nature imperméable du substrat en dehors des zones fissurées, les eaux de ruissellement ont tendance à se rassembler au Sud du plateau, dans la dépression au pied de la seconde cuesta. Cette dépression comporte deux parties (fig. 23) : à l'Est, une grande cuvette (20 par 12 km environ) où se trouvent les puisards de Takene Bawat qui ont donné leur nom à la région ; à l'Ouest, une dépression plus étroite (15 par 5 à 1 km environ) avec laquelle communique la grande cuvette et qui est susceptible de communiquer aussi avec l'Azawagh.

En effet, la dépression débouche en rive gauche de l'Azawagh, 20 km environ au Nord-Ouest d'Eghes Nesibel (fig. 21). A cet endroit, on constate que le fond de la dépression domine le lit de l'Azawagh de 4 à 5m, le raccordement se faisant par une zone caillouteuse. Dans la dépression, et notamment au débouché vers l'Azawagh, on observe localement des galets roulés de 5 à 8 cm de diamètre. La nature de certains de ces galets (quartz et roches endogènes) oblige à envisager des écoulements fluviatiles depuis l'Aïr ou l'Adrar des Ifoghas (fig. 1) (Morel, 1985b). Cette dépression a donc été une zone alluviale et le terme de « vallée perchée » pourrait lui être appliqué. Néanmoins, rien dans la morphologie

actuelle n'indique une dynamique alluviale et il s'agit donc d'événements anciens. La dynamique hydrique récente ne concerne qu'un ruissellement limité qui a entraîné des particules fines du substrat crétacé dans la dépression, provoquant son colmatage.

Mis à part les traits liés au substrat, la morphologie est dominée par la dynamique éolienne. On observe de nombreux dépôts éoliens, en particulier de grands cordons dunaires orientés W-E à WSW-ENE qui occupent la zone centrale du plateau sur une largeur de 2 à 4 km environ et constituent la bordure nord de la dépression (fig. 23). Ces sables ont enregistré la trace de plusieurs épisodes arides et humides. Lors des périodes arides se sont produits les changements morphologiques les plus importants. Il y a eu formation de systèmes dunaires où alternaient dunes et interdunes en phases d'accumulation, ou crêtes et couloirs en phases d'érosion. Lors des périodes humides, les zones basses où se rassemblait l'eau ont enregistré des épisodes palustres ou des paléosols. C'est également dans ces zones basses qu'ont été le mieux préservés les vestiges d'occupation néolithique signalés dès 1933 par Le Rumeur.

En raison de la porosité des sables éoliens et de la proximité du substrat calcaire les zones basses ont connu d'importants transferts de calcium qui ont permis leur induration mais gênent considérablement certaines datations sur les ossements. Le matériel sableux de ces zones basses étant plus induré que le reste du système dunaire a mieux résisté aux phases d'érosion et se retrouve maintenant en relief inversé. Ces anciennes zones basses indurées, puis mises en relief, se présentent comme des buttes-témoin plus ou moins alignées au pied des grands cordons dunaires, en bordure de la dépression. Vues de loin, ces buttes aux sommets plats donnent l'impression trompeuse d'une « terrasse », d'une banquette alluviale démantelée (photo 7, hors texte). L'érosion éolienne récente a souvent sculpté ces niveaux indurés, leur donnant un aspect vacuolaire ou encore, l'induration étant plus forte autour des conduits racinaires, un aspect tubulaire. Localement, certaines buttes sont couvertes de débris ferrugineux bruns à noirs provenant du démantèlement d'une cuirasse d'hydromorphie de type « tapis-brosse » (photos 8 et 9, hors texte). En contrebas, le substratum de la dépression peut être localement couvert de placages d'un matériau gris, « les limons gris » (photo 10, hors texte). Il s'agit de silts et sables très fins, plus ou moins argileux, souvent pulvérulents, indurés en surface. Enfin, une couverture de sable meuble, beige à blanc, se rencontre fréquemment. Généralement peu épaisse, en nappage, elle peut aussi se présenter sous forme d'accumulations dunaires actuelles de type sif.

Essai de reconstitution de l'évolution géomorphologique au Quaternaire supérieur

Un examen plus attentif des buttes montre qu'il en existe plusieurs types, caractérisés par des variations de la texture (compacte, grumeleuse, vacuolaire ou tubulaire) accompagnées de différences de couleur (brun-rouge, beige-ocre, blanc, gris ou noir) et dont l'altitude du sommet varie (photos 8 à 15, hors texte). Dans une même zone, on pourra observer plusieurs types différents représentant les points bas de morphologies éoliennes successives se recoupant de manière complexe et dont plusieurs sont maintenant datées. Il est désormais possible de préciser, voire modifier, la chronologie sommaire proposée antérieurement (Durand et Paris, 1986 ; cf. *supra* : Cadre de l'étude).

Les formes les plus anciennes seraient les plus hautes. Ce sont les grands cordons E-W qui dominent la dépression de 10 à 20m (fig. 25 A). Leur couleur rouge-brique à brun indique une pédogenèse ancienne, responsable de leur légère induration par le fer et les argiles. Sur le versant sud de ces cordons, de nombreuses buttes-témoin d'1m² environ pour une hauteur pouvant atteindre 1.5m, correspondraient aux anciennes zones basses les plus indurées et ayant le mieux résisté à l'érosion (photo 10). Par comparaison avec d'autres régions d'Afrique de l'Ouest, on peut attribuer un âge minimum pléistocène supérieur (28,000 à 22,000 ans ¹⁴C BP) à la pédogenèse (Gavaud, 1970 ; Durand, 1995). Une date de 21810 ± 650 BP (Pa 927) a été obtenue ici. La période aride ayant vu l'édification des cordons serait donc antérieure. Il peut d'ailleurs s'agir du résultat cumulé de plusieurs périodes arides pléistocènes (cf. *infra* Lekdarat.), aboutissant à ce qu'on désigne en Afrique de l'Ouest sous le nom d'erg ancien (Gavaud, 1970 ; Durand, 1995).

Cette morphologie dunaire ancienne a ensuite subi une érosion très importante, provoquant la remobilisation de grandes quantités de sable et aboutissant à une inversion de relief. Les zones basses de l'erg ancien, les plus indurées par la pédogenèse, ayant mieux résisté à l'érosion se sont retrouvées en relief alors que les nouvelles zones basses ont à leur tour été indurées (fig. 25 B). Mais il ne s'agit pas cette fois d'une pédogenèse. Le matériau de la base des anciens cordons est visible tout le long de la bordure de la dépression de Takené Bawat, sur le substrat crétacé. Il s'agit d'un grès à ciment calcaire, rose-orangé (photos 11 et 12). On peut supposer que l'induration est liée à la circulation, au toit du Crétacé, d'eau chargée en calcium et soumise à l'évaporation à travers les sables éoliens qui constituent un matériau particulièrement poreux. L'humectation du fond des zones interdunaires par les eaux pluviales devait favoriser un « effet de mèche ». Une datation a donné 8345 ± 85 BP (Pa 925). Il s'agit d'un âge plausible quant aux quantités d'eau dispo-

nibles et à l'importance de l'évaporation, celui du grand humide de l'Holocène inférieur. On peut néanmoins s'interroger sur l'absence d'indications concernant des paléoenvironnements aquatiques de même âge, coquilles notamment. Peut-être aurait-il fallu prospecter plus en contre-bas, vers le centre de la dépression où les eaux devaient aboutir naturellement ? Par ailleurs, ces grès calcaires présentent des cannelures orientées NNE-SSW, dues à une érosion éolienne postérieure (photo 12, hors-texte).

Vers la dépression on observe des buttes grises, de moins d'1m de haut, dont la surface peut être indurée par du carbonate (fig. 25 C). Il s'agit de sable silto-argileux contenant des coquilles de gastéropodes (cf. TKNBWT 2). Une datation sur *Melanoides tuberculata* a donné 7775 ± 110 BP (Pa 304). Localement, la surface présente des structures polygonales caractérisant un assèchement. Des *Limicolaria sp.* (pulmonés) prélevés sur cette surface ont fourni une date de 6310 ± 110 BP (Pa 311). Il s'agit donc de deux épisodes humides différents (cf. *infra*).

FIGURE 25 : coupes synthétiques schématiques montrant les étapes de la mise en place de la morphologie actuelle au Sud du grand cordon dunaire méridional de Takene Bawat. ►

A : au Pléistocène, sur un substratum constitué par des calcaires blancs turoniens, lors des périodes arides, le vent met en place de grands cordons dunaires orientés E-W (1). Lors des périodes humides, les zones basses, enrichies en argile et en fer (2), enregistrent une pédogenèse responsable de leur couleur rouge-brique à brun. Un tel paléosol a été daté sur carbonate de 21,800 BP environ.

B : inversion de relief après une période d'érosion éolienne importante au Pléistocène supérieur (Kanémien-Ogolien). Puis, à l'Holocène inférieur, à la base des dunes, le sable est induré localement par du carbonate (3) lié aux circulations d'eau au toit du Crétacé.

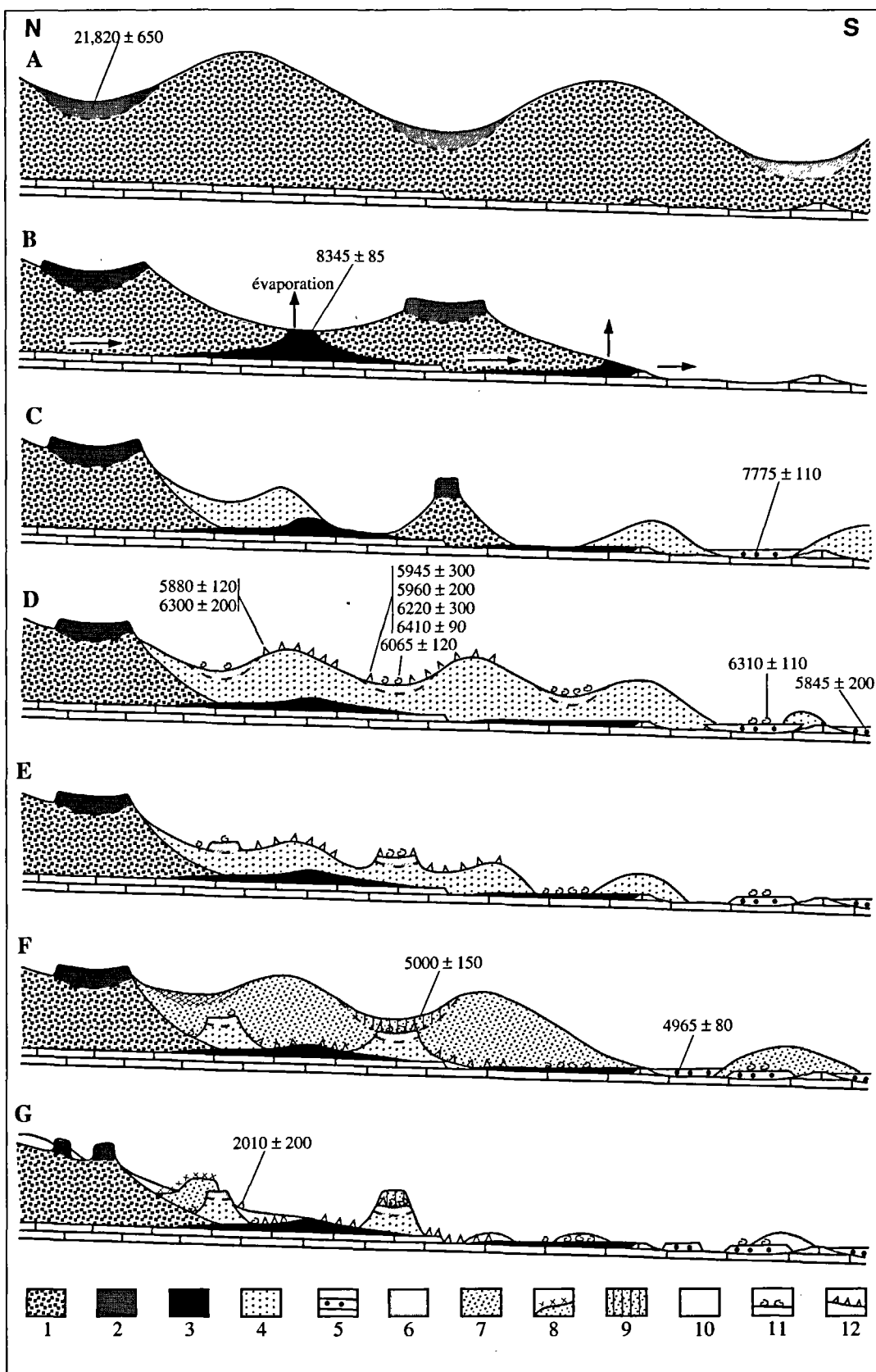
C : alternance de courtes phases arides caractérisées par l'érosion et les remaniements éoliens (4) et de phases humides à dépôts palustro-lacustres coquilliers (5).

D : entre 6400 et 5900 BP environ, après une nouvelle phase d'accumulation éolienne, les zones basses interdunaires, parfois occupées par des sols humides à limicolaires (11), connaissent une pédogenèse (6). Simultanément, on note une occupation humaine sur les zones hautes (12) et des milieux aquatiques palustro-lacustres (5) dans la dépression de Takene Bawat.

E : nouvelle phase d'érosion éolienne provoquant une nouvelle inversion de relief.

F : après une nouvelle phase d'accumulation éolienne (7), les zones basses interdunaires connaissent une pédogenèse, soit avec formation d'une cuirasse ferrugineuse d'hydromorphie (8), soit avec accumulation de carbonates (9). Certaines zones basses de la cuvette connaissent encore des milieux palustro-lacustres vers 5000 BP (5).

G : nouvelle(s) phase(s) d'érosion éolienne aboutissant au paysage actuel. Les remaniements éoliens récents fournissent un nappage généralisé de sable blanc à beige (10).



Au pied des cordons, surmontant les grès calcaires à cannelures on observe des buttes pouvant atteindre une hauteur de 2,5 à 3m. Elles sont constituées essentiellement de sable rose à ocre à la base et devenant beige à gris vers le haut (photo 11, hors-texte). La partie la plus haute, d'aspect grumeleux, est indurée par du carbonate et contient de nombreuses traces d'occupation humaine datées entre 6400 et 5900 BP environ (cf. TKNBWT 2), ainsi que des *Limicolaria sp.* datés de 6065 ± 90 BP (Pa 300) (fig. 25 D et photos 13 à 16, hors-texte). Des limons gris situés à proximité contenaient des *Caelatura sp.* datées de 5845 ± 200 BP, attestant de l'existence de milieux aquatiques contemporains des sites d'occupation humaine.

Les sommets de ces buttes représentent donc les points bas d'une nouvelle morphologie éolienne qui sera érodée à son tour (fig. 25 E). C'est entre 8350 et 6400 BP environ que les grès calcaires auraient subi l'érosion éolienne responsable des cannelures, puis que les sables éoliens formant ces buttes auraient été accumulés. Ces indications d'aridité ne sont pas en contradiction avec l'existence en contrebas du milieu palustre à *Melanoides tuberculata* daté de 7800 BP environ (cf. *supra*) ; elles sont complémentaires. Ainsi, dans la région de Taoudenni, au Mali, l'optimum lacustre compris entre 8300 et 6700 BP environ comprend en fait quatre séquences transgression-régression représentatives de variations séculaires de P/E (Fabre et Petit-Maire, 1988). Par analogie, on peut penser que le milieu aquatique daté ici de 7800 BP environ correspondrait à l'une des séquences transgressives, alors que les phénomènes éoliens auraient eu lieu pendant l'une ou l'autre des séquences régressives, voire même pendant les quatre avec un effet cumulé. On notera que le ciment carbonaté du sommet de ces buttes a été daté de 5000 ± 150 BP (Pa 302) (cf. *infra*).

Toujours au pied des cordons, on observe des buttes de sable argilo-silteux gris d'une hauteur de quelques mètres dont le sommet est induré par du carbonate et où l'érosion a dégagé des niveaux à faciès tubulaire ou vacuolaire (fig. 25 G). A nouveau, il convient de considérer que les sommets de ces buttes représentent les points bas d'une morphologie dunaire disparue (fig. 25 F). Certaines sont couvertes (photo 9, hors-texte) par une cuirasse ferrugineuse d'hydromorphie, de type « tapis-brosse », qui a été démantelée. Localement, nous avons pu observer une de ces buttes s'appuyant sur une butte du type précédent qu'elle dépassait en hauteur de 0.5m environ. D'un point de vue chronologique, ce type de butte serait donc postérieur au précédent dont il est localement séparé par une phase d'érosion et de remobilisation éolienne. Les anciennes zones basses de cette nouvelle morphologie dunaire auraient connu la phase d'hydromorphie qui a été datée ailleurs en Afrique de l'Ouest entre 6000-5700 et 4400 BP (Maley, 1981 ; Durand, 1995), ainsi que la mise en place des ciments carbonatés datée de 5000 BP environ par ailleurs (cf. *supra*). Ces buttes ont été ensuite soumises à l'érosion éolienne.

Les régions environnantes ont montré l'existence ensuite de plusieurs phases morphoclimatiques (*in* Maley, 1981 ; Paris, 1996), mais dans ce contexte peu favorable (sommet de plateau calcaire, sans nappe phréatique), l'augmentation de l'aridité n'ayant plus permis l'induration des points bas de ces dernières morphologies nous n'en avons rien retrouvé. On peut comparer avec la région contiguë d'In Tekebrin et Lekdarat (*cf. infra*), où le contexte géomorphologique beaucoup plus favorable (zones en dépression sur un substrat souvent argileux) a permis l'enregistrement d'autres épisodes humides vers 4200 puis 3800-3400 BP. Ici, on note simplement une réoccupation vers 2000 BP (fig.25 G).

Les sites archéologiques

TKNBWT 1 (17°33'N ; 04°38'E). Cet important site de surface (300 x 200m environ) est implanté au débouché de la vallée dans l'Azawagh, à l'extrémité occidentale de la dune de Takene Bawat (fig. 23). Le matériel lithique est très abondant. Les éclats dominent mais les lames et surtout les lamelles, sont relativement bien représentées, malgré une matière première peu favorable, constituée essentiellement par des galets fluviaux. L'ambiance générale évoque les sites hauts de Mentès, notamment par le nombre important de segments de cercles. La rareté de la céramique confirme l'impression d'ancienneté. Les restes de faune sont mal conservés mais les esquilles abondent, traduisant une consommation importante d'animaux.

Nous avons récolté des exemples d'éclats et lames retouchés, grattoirs divers sur éclat, armatures de pointe de flèche (où les pédonculées semblent dominer), segments, grands segments, haches et microhaches polies. La poterie est rare, mal conservée. Les tessons, de classe O/C*/C, sont de petite taille et ne permettent pas de restitution graphique des formes. Les décors, obtenus par impression, sont trop effacés par l'érosion éolienne pour être correctement décrits. Des prélèvements ont toutefois été faits pour datation par le radiocarbone car le dégraissant végétal nous semblait contenir une part suffisante de restes organiques. Une poterie a effectivement pu être datée, sur le dégraissant végétal, de 6300 ± 200 BP (Pa 517) ($\delta^{13}\text{C} = -16.25 \text{ ‰}$; âge calibré : 5433-5005 BC, 1σ). Les prélèvements effectués pour la faune ont permis d'identifier du buffle (*Syncerus caffer*), de l'antilope (*Damaliscus cuiculi* sous réserve), du phacochère, de l'hippopotame, de la tortue aquatique, palustre-fluviale, de grande taille (*Trionyx triungis*, sous réserve), du crocodile du Nil, des silures (*Synodontis sp.*) et du *Lates niloticus*.

TKNBWT 1b (17°33'N ; 04°38'E). Ce petit site (40 m x 30 m) est implanté sur le sommet de la dune occupée par TKNBWT 1, environ 200 m à l'Est de ce dernier. Nous considérons qu'il appartient à la même période culturelle. Nous n'avons pas effectué de collecte sur ce site.

TKNBWT 2 (17°33'N ; 04°43'E). Nous avons regroupé, sous la même dénomination, plusieurs buttes témoins, vestiges d'un site presque totalement démantelé par l'érosion. Ces petites buttes, de 5 m² maximum de surface, sont constituées d'un sol induré par des carbonates (fig. 25 F et G). Cet ensemble est plus intéressant pour la compréhension de l'histoire du paléoenvironnement que pour celle des cultures matérielles. C'est toutefois sur une de ces buttes que nous avons découvert un squelette humain en relativement bon état de conservation (photo 16, hors-texte). Le corps est en position repliée, couché sur le côté droit, orienté selon un axe plutôt sud-nord (tête à 155°). Les autres vestiges sont pour la plupart éparpillés sur les limons gris, mais quelques uns, dont de rares tessons de poterie et une meule, sont encore pris dans les niveaux indurés des buttes témoins et permettent donc de distinguer le niveau d'occupation détruit par l'érosion. Les restes de faune sont eux aussi abondants malgré la dégradation du site.

Le matériel lithique a essentiellement été ramassé en contrebas, sur les limons gris, donc dans un contexte remanié, mais il ne peut provenir que du démantèlement des buttes. Nos collectes comportent des exemples d'armatures, de grattoirs, de lames et lamelles retouchées, de segments, de mèche de foret, de perçoir. Le matériel poli est représenté par une herminette, une hache et des microhaches. Le matériel céramique est rare, fragmentaire et les décors érodés. Les prélèvements effectués pour la faune ont permis d'identifier des bovinés (*B. palaethiopicus* ?, *B. taurus* ?, *B. indicus* ?), de la gazelle (*Redunca redunca*), de l'antilope (*Tragellanus* ?), de la girafe (*Girafa*), un équidé, du phacochère, un canidé (*Canis Aureus*), un félin (chat des marais ?), de l'hippopotame, du crocodile du Nil, des poissons (*Lates niloticus* et *Synodontis sp.*) et des mollusques (*Melanoides tuberculata*, *Lymnaea natalensis*, *Biomphalaria pfeifferi*, *Bulinus truncatus*, *Bulinus forskalii*, *Segmentorbis sp.*, *Limicolaria sp.*) qui ont fourni plusieurs datations :

— *Melanoides tuberculata* (pris dans le limon gris) : 7775 ± 110 BP (Pa 304) ($\delta^{13}\text{C} = -4.57\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -3.43\text{‰}$),

— *Limicolaria sp.* (sur le limon gris) : 6310 ± 110 BP (Pa 311),

— *Limicolaria sp.* (dans les terrasses démantelées) : 6065 ± 90 BP (Pa 300) ($\delta^{13}\text{C} = -10.8\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -8.73\text{‰}$).

Le squelette humain (photo 16) a été entièrement prélevé (TKNBWT.2 H1). Nous avons tenté de le dater. L'induration carbonatée ($\delta^{13}\text{C} = -3.35\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -8.6\text{‰}$) dans laquelle les os étaient piégés est

datée de 5000 ± 150 BP (Pa 302). La teneur en carbone minéral total est très élevée (5 %). Après traitement, le carbonate-hydroxylapatite purifié ne contient que 0.33 % de carbone minéral, ce qui est acceptable, et une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ de -7.65 ‰. L'âge obtenu est de 5960 ± 200 BP (Pa 1041 ; âge calibré : 5068-4595 BC, 1σ). Nous avons daté également le collagène. La teneur en carbone organique est faible, de l'ordre de 0.2 %, et l'on ne peut exclure, malgré les prétraitements, une pollution par la matière organique de l'environnement. Quelques prélèvements dans les limons limitrophes, permettent de préciser les teneurs en carbone (0.15 %) et les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ (-22.6 ‰) du milieu dans lequel le squelette a séjourné. Le $\delta^{13}\text{C}$ du collagène est quant à lui de -15.4 ‰, sa datation est de 6220 ± 300 BP (Pa 308 ; âge calibré : 5432-4835 BC, 1σ). Si l'on prend en compte le modèle de Lee-Thorp *et al.* (1989) des différents fractionnements isotopiques dans les réseaux trophiques, l'écart entre les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate-hydroxylapatite et celui du collagène est de 7.7, ce qui est un peu fort mais cependant compatible avec une alimentation humaine. La bonne convergence entre les datations du carbonate-hydroxylapatite et du collagène plaide en faveur de la validation des âges malgré les sérieuses difficultés méthodologiques rencontrées.

Un petit tesson encore pris dans la gangue carbonatée de la terrasse montre un décor par impression de type *dotted wavy line*. Nous avons daté quelques tessons, riches en dégraissant végétal composé de longues tiges incorporées en masse dans la pâte argileuse. Au centre du tesson la teneur en matière organique est normale (0.6 %) pour une céramique à dégraissant végétal et la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ associée est de -16.7 ‰. Sur la face interne elle est près de trois fois plus faible (0.25 %) qu'au centre et le $\delta^{13}\text{C}$ (-22.1 ‰) nous indique soit une influence du combustible lors de la cuisson de la pâte, par diffusion des particules du combustible, soit une pollution par la matière organique de l'environnement avec les circulations d'eau postérieures à l'enfouissement. Cependant, sur la face externe les teneurs en carbone étant de six à dix fois plus faibles, en particulier sous le premier millimètre, elles démontrent l'absence ou du moins la faiblesse de la teneur en matière organique qui aurait pu provenir de micro-organismes ou de particules organiques sédimentaires infiltrés dans la porosité de la céramique. Nous les rangeons dans la classe O/C*/C. Le mode de cuisson devait être proche de celui de Tamaya Mellet 3 (*cf. infra*). Deux datations des tessons ont été réalisées : 5945 ± 300 (Pa 301 ; âge calibré : 5208-4510 BC, 1σ) et 6410 ± 120 BP (Pa 1599 ; âge calibré : 5442-5241 BC, 1σ).

Des « grésifications carbonatées » à cannelures provenant du sommet d'une petite butte située immédiatement au nord des buttes à tessons ont été datées de 8345 ± 85 BP (Pa 925).

TKNBWT 3 (17°34'N ; 04°40'E). Ce gisement, de dimension plutôt petite (70m x 50m), se trouve à environ 300m à l'Est de TKNBWT1b, sur le sommet de la dune. Un tumulus est construit dans la partie centrale du site ; il s'agit d'un simple tertre de sable plaqué de dalles calcaires (environ 0,50m x 0,40m), de petite dimension, 3m x 3,50m, pour une hauteur de 0,90m. Les grattoirs sont proportionnellement plus nombreux que sur les places précédentes et la poterie, par ses formes comme ses décors, évoque celle du site d'In Tekebrin (*cf. infra*). Dans l'ensemble, ce gisement paraît appartenir à une période plus récente que l'ensemble TKNBWT 1, 1b, 2 et 6. Pas de collecte de matériel.

TKNBWT 4 (17°34'N ; 04°41'E). Trois km à l'Est de TKNBWT 3, toujours sur la même dune, nous trouvons un petit gisement aux vestiges particulièrement clairsemés (50m x 40m). L'industrie lithique est rare, le décor de la céramique évoque le Néolithique récent ou final. Ce site qui se distingue nettement des précédents, se rattache plutôt, par les décors de poterie, aux emplacements repérés dans la vallée de l'Azawagh.

Pas de collecte de matériel lithique ou céramique. Les prélèvements effectués pour la faune n'ont permis d'identifier que des bovins (*Bos taurus* et *Bos taurus palaethiopicus* ?) et pour les mollusques, des *Caelatura sp.* qui ont été datées de 4965 ± 80 BP (Pa 437) ($\delta^{13}\text{C} = 0.33$, $\delta^{18}\text{O} = -3.21\text{‰}$).

TKNBWT 5 (17°34'N ; 04°42'E). Ce petit gisement (environ 60m x 50m), se trouve à 1 km de TKNBWT 4. Le matériel lithique est rare. Le façonnage est essentiellement constitué d'éclats retouchés de petites dimensions. La poterie est différente à la fois de celle de TKNBWT 4, d'allure néolithique récent, et de celle de TKNBWT 3, d'allure chalcolithique. Elle nous paraît plus récente. La faune est un peu plus abondante que sur les sites précités.

Les prélèvements effectués pour la faune ont permis d'identifier des bovins (*Bos taurus*), du phacochère, du lièvre (?), de l'hippopotame et un poisson (*Auchenoglanis sp.*). Datation sur le dégraissant végétal ($\delta^{13}\text{C} = -13.25\text{‰}$) de la poterie (classe O/C*/O) : 2010 ± 200 BP (Pa 444 ; âge calibré : 352 BC-238 AD, 1σ).

TKNBWT 6 (17°35'N ; 04°45'E). Ce site, le dernier de la série, est implanté à l'extrémité orientale du cordon « littoral ». Il paraît tout à fait comparable à TKNBWT 2, par son implantation comme par les vestiges que l'on y observe, mais il est beaucoup mieux conservé. Les vestiges sont pris dans le limon gris de la partie inférieure. Sur les pentes de la

dune blanche qui borde le site, les traces d'occupation sont aussi assez denses, mais on y reconnaît des objets (poterie en particulier) qui sont les témoins d'une occupation différente et plus récente (Néolithique récent / terminal). Il y a donc, dans ce secteur, mélange de plusieurs épisodes culturels. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à la partie inférieure du site qui paraît homogène, du moins sur le plan de la culture matérielle. Nous avons pu observer des concentrations de fragments d'os brûlés (vidange de cuisine ?), de poteries. Nous avons aussi repéré 2 sépultures humaines totalement mises au jour par l'érosion. Nous reconnaissons le squelette d'un adulte partiellement conservé, dont on peut voir qu'il fut inhumé en position fléchie, mais dont l'orientation n'est plus déterminable. L'autre est une sépulture d'enfant, dont le crâne a disparu. L'outillage lithique n'apparaît pas très abondant. Nous avons recueilli une pointe d'Ounan, pièce fréquente à Tamaya Mellet ainsi que dans les sites de l'Est Aïr, mais que nous n'avions pas trouvée jusqu'alors dans nos prospections de l'Azawagh nigérien. Parmi les vestiges rares, nous avons découvert une dent d'hippopotame cassée dans sa partie inférieure. Elle a été fendue dans le sens longitudinal et tous ses bords sont décorés par des incisions qui forment des croisillons. Nous avons pensé de prime abord que la partie frontale, qui est un peu plus profondément incisée, pouvait avoir servi de peigne pour le décor des poteries. Les différents essais de restitutions d'impression que nous avons réalisés montrent qu'il n'en est certainement rien ; il s'agit plus probablement d'un objet de parure (ou d'une amulette) dont la partie inférieure a disparu (fig. 26.1).

Collecte de matériel lithique : exemples d'éclats et lames retouchés, armatures diverses (mais pédonculées rares), segments, grands segments, mèches de foret, perçoirs, pointes foliacées, microhaches et haches polies. Il faut ajouter à ces exemples une pointe d'Ounan (*cf. supra*), la seule que nous ayons vue sur ce site. Matériel céramique : les tessons prélevés ont permis de restituer cinq formes de bol, à fonds ronds, très légèrement fermés. Les décors sont obtenus par impressions qui couvrent tout le corps du pot. Les impressions au peigne dominant, impressions directes ou pivotantes, mais il y aussi quelques exemples d'impressions à la tige fendue (fig. 26.2). Quelques tessons à dégraissant végétal (classe O/C*/C ; $\delta^{13}\text{C} = -19.0\text{‰}$) ont été datés de 5880 ± 120 BP (âge calibré : 4904-4600 BC, 1σ ; Pa 454), et les coquilles de *Caelatura* prises au voisinage dans le limon gris de 5845 ± 200 BP (Pa 574).

Les prélèvements effectués pour la faune ont permis d'identifier du buffle (*Syncerus caffer*), de la gazelle (*Setifensis pomel*), de l'hippopotame, de l'éléphant, du crocodile du Nil et des mollusques (*Melanoides tuberculata*, *Lymnaea natalensis*, *Bulinus truncatus*, *Segmentorbis angustus*, *Ceratophallus sp.*).

TKNBWT 7 (1984 et 1985) (17°36'N ; 04°48'E). Ce site se trouve 5 km à l'Est de TKNBWT 6, dans le petit ensemble de dunes rouges entre Takene Bawat et Egharderfel, après l'ensablement vif blanc. Il est en tout point comparable au site observé sur le trajet Mentès-Eghès Nesibel, avant d'arriver dans la « vallée » de l'Azuz (17°06'N ; 04°25'E, *cf. supra*). Nous trouvons, en effet, au centre d'une cuvette interdunaire, le squelette en place d'un hippopotame, dont les os ont une coloration verte. Ce squelette est en très mauvais état de conservation ; les os apparents, fragmentés en esquilles, sont presque tous déstructurés par l'érosion. Sur les pentes sableuses qui entourent cette cuvette, on remarque des traces d'occupation diffuses, constituées de galets éclatés, quelques éclats et armatures, des tessons de poterie. Les décors observés rattacheraient ce site au Néolithique récent ou final. Parmi les quelques restes osseux, on peut reconnaître de l'antilope.

L'échantillonnage effectué parmi les coquilles qui parsèment le fond de la cuvette a permis d'identifier les mollusques suivants : *Melanoides tuberculata*, *Biomphalaria pfeifferi*, *Bulinus truncatus*.

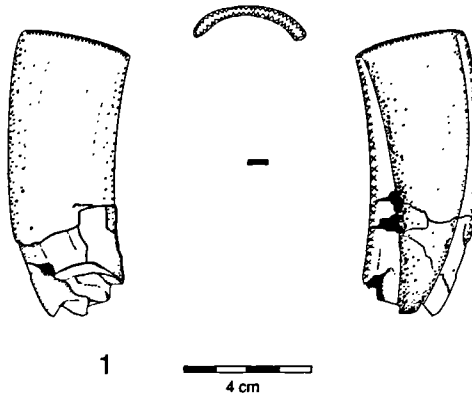
A l'Est de ce dernier site, sur la dune rouge recouverte de sables blancs récents, nous avons repéré plusieurs traces d'occupations d'époque néolithique, qui traduisent de très petits campements ou des haltes temporaires que nous n'avons pas précisément décomptées dans cette première phase de prospection. Nous n'avons fait aucun ramassage sur ce type de site.

TKNBWT 7b (1984) (17°37'N ; 04°52'E). Nous avons remarqué ce gisement qui traduit une occupation plus conséquente que les traces rencontrées jusqu'alors dans ce massif dunaire. Nous y trouvons des meules, de nombreux tessons, des armatures de pointe de flèche.

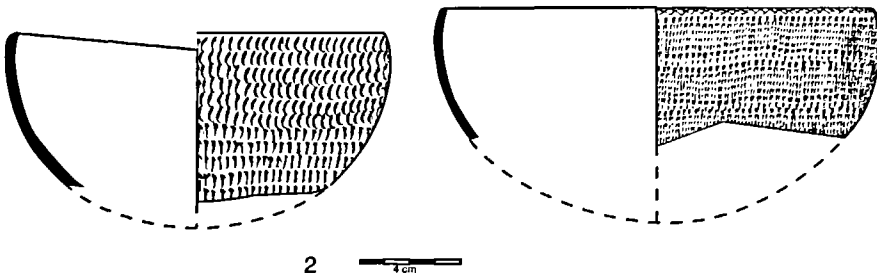
Nous ne faisons pas de collecte, mais parmi la faune, Ph. Columeau a pu identifier des restes de *Bos taurus*, *Canis aureus* et *Girafa*. L'allure générale du site est néolithique récent /final.

EGHARDERFEL (1984) (17°35'N ; 04°53'E). Le seuil d'Egharderfel, du nom des puisards abandonnés, ferme la dépression de Takene Bawat dans sa partie orientale (fig. 23). Sur ce seuil, est implantée une petite nécropole constituée d'une trentaine de monuments funéraires (GRDFL N1). La plupart sont des tumulus simples, de type hémisphérique, de dimensions plutôt grandes, construits avec de petits matériaux (pierres calcaires) très cohérents. Nous avons toutefois remarqué 2 tumulus à cratère dans la partie nord et deux constructions quadrangulaires (*cf.* AZWK T2 et In Teduq). En revanche nous n'avons pas vu de tumulus en croissant, contrairement à ce que nous avons noté à

FIGURE 26 : 1 / objet de parure en ivoire d'hippopotame découvert à TKBWT 6



2 / exemples de poteries de TKBWT 6



Eghes Nesibel (AZWK T1, *cf. supra*). D'après ce que nous savons de la chronologie des monuments funéraires dans le Nord du Niger (Paris, 1996), ce type de nécropole serait post-néolithique (3000-2500 BP, en se référant à l'âge estimé des tumulus à cratères de l'Ighazer wan Agades) et aurait été utilisé jusqu'au XIII^e siècle de notre ère, selon l'âge obtenu par D. Grébénart (1984) pour une structure quadrangulaire près d'In Gall.

Conclusions partielles

Comme partout ailleurs dans les régions étudiées précédemment, aucun vestige anthropique n'a encore été daté de façon incontestable pour la période 8500-7000, qui correspond au grand humide de l'Holocène inférieur. Des âges existent sur restes de faune ou sur dépôts impliquant la présence d'eau, mais aucun sur vestige anthropique. Néanmoins, l'essai de reconstitution de l'évolution géomorphologique de cette région à l'Holocène a mis en évidence deux points importants pour la compréhension de ce problème. D'une part, on commence à distinguer un grand nombre d'épisodes paléoenvironnementaux successifs de quelques siècles chacun. Ceci devrait séparer les sites archéologiques successifs et en faciliter l'étude. Mais en fait, d'autre part, entre deux épisodes les modifications du cadre morphologique peuvent être si radicales que les traces d'occupations successives deviennent généralement indiscernables. En particulier, l'alternance fréquente entre points hauts et points bas des morphologies éoliennes successives a dû être très destructrice. Sur un substrat de sable meuble les remobilisations éoliennes successives ne peuvent aboutir qu'au mélange des artefacts vers le bas : une « compilation » en quelque sorte. Les indices les plus fragiles, tels que les ossements humains, doivent être difficilement conservés. Seuls de très nombreux essais de datations sur les artefacts les plus résistants et datables que sont les tessons de poteries, fourniraient peut-être la preuve d'une occupation ancienne sur de tels sites. La découverte d'une pointe d'Ounan, comme à TKBWT 6, est une indication du caractère plausible de cette hypothèse mais pas une preuve.

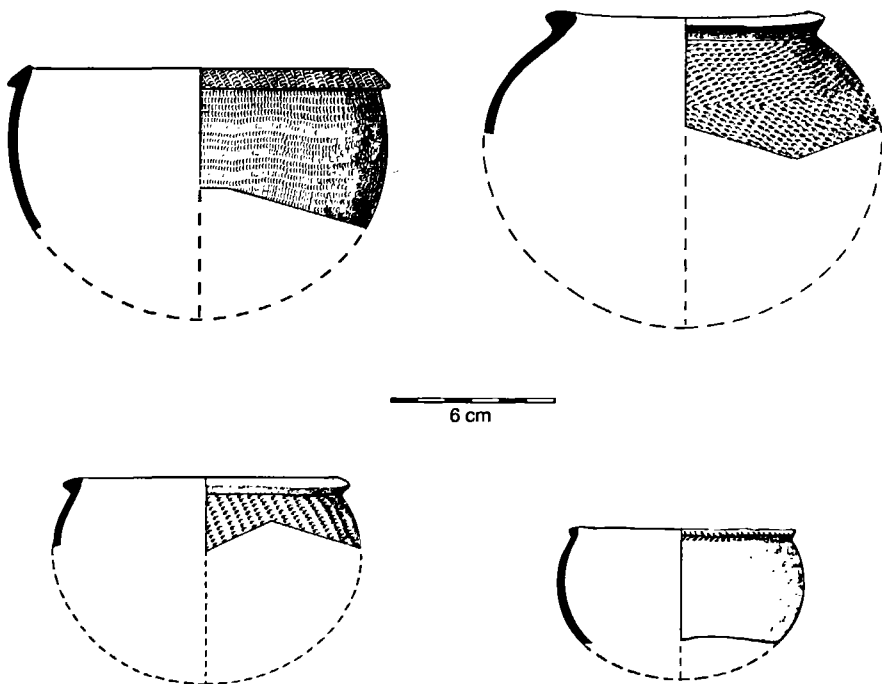
La région d'In Tekebrin

Le seuil d'Egharderfel ferme la dépression de Takene Bawat *sensu stricto* mais la dépression inondable se prolonge en fait, vers l'Est Sud-

est, sur environ 20 km de long (fig. 23). Assez étroite, elle ne mesure que 6 km dans sa plus grande largeur. Cette dépression d'Egharderfel est limitée au sud par un escarpement de faible dénivelée, au nord par des cordons dunaires qui la séparent de la dépression d'In Tekebrin. Les sites archéologiques sont implantés sur les deux versants des cordons dunaires qui séparent les deux dépressions. Cet ensemble de cordons dunaires mesure 15 km de long (EW) pour 1 km de large (NS). Nous n'avons localisé dans cet ensemble que six gisements, mais il en existe d'autres. Sur le versant sud des cordons, du côté de la dépression d'Egharderfel, nous n'avons en fait étudié qu'un seul site, TKBRN 1, implanté dans la partie occidentale du cordon dunaire. Dans la partie orientale nous avons repéré plusieurs petits sites qui montrent essentiellement des concentrations de vestiges osseux à patine noire, très minéralisés. Les outils lithiques sont rares et nous n'avons pas remarqué de poterie. Ces petits sites sont implantés dans la partie basse ; les vestiges sont souvent encore pris dans les limons gris-bleu qui constituent le remplissage de surface de la dépression. Les restes de mollusques sont moins abondants qu'à l'habitude. Nous n'avons pas effectué de collecte d'objets, mais Philippe Columeau a fait un inventaire préliminaire de la faune. Les animaux le plus fréquemment rencontrés (ou les plus évidents) sont le buffle (*Syncerus caffer*), l'hippopotame, la gazelle ; parmi les poissons on trouve *Lates niloticus* et divers silures. C'est donc sur le cordon dunaire d'In Tekebrin que les installations humaines sont le mieux préservées. Tout le pourtour de la dépression a du être occupé mais seules les installations sur les dunes ont été épargnées par l'érosion.

TKBRN 1 (17°37'N ; 05°01'E). C'est un gisement de grande dimension, installé sur le versant sud de la dune fossile rouge, tourné donc vers la cuvette d'Egharderfel (fig. 23). Les vestiges s'étendent sur une longueur de près de 600 m et sur toute la pente de la dune, d'une largeur d'environ 100m. La partie haute de la dune est occupée par des sables blancs, « actuels », sous lesquels le site semble se prolonger. Les vestiges dans la pente représenteraient alors la zone de décharge d'un habitat qui serait masqué par les dépôts éoliens récents. Ce site se caractérise par l'abondance et la densité des vestiges, que ce soit l'industrie lithique, le matériel céramique ou la faune. Les grattoirs sont les éléments les plus remarquables de cette industrie lithique. Lola Bonnabel, qui en a fait l'étude (1990) les compare à ceux que l'on trouve dans la région de Termit, sur des sites de l'âge des métaux ou encore dans l'Aïr, sur le site d'Iwelen (Roset, 1984). La céramique (fig. 27) est particulière, se distinguant par le décor et la forme des bords, de celle des sites néolithiques voisins. Nous y avons aussi trouvé des nodules cuivreux et une petite

FIGURE 27 : exemples de poteries d'In Tekebrin



lame de cuivre (photo 17, hors texte) que les analyses physico-chimiques ont permis de rapprocher. Tous ces éléments nous ont amené à conclure que ce gisement appartient à l'âge des métaux (Paris *et al.*, 1992).

Collecte : industrie lithique, matériel céramique, nodules et lame de métal, faune, charbons.

Nous avons obtenu quatre datations ^{14}C :

| <i>nature du matériau daté</i> | <i>N° labo</i> | $\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$ | <i>Âge ^{14}C BP</i> | <i>Âge calibré BC</i> |
|---------------------------------|----------------|---------------------------------|--|-----------------------|
| charbons | Pa 233 | -25.0 | 2600 ± 80 | ----- |
| matière organique d'os brûlés | Pa 280 | -20.9 | 3700 ± 150 | 2304-1883 |
| charbons associés aux os brûlés | Pa 471 | -25.0 | 3530 ± 120 | 2019-1686 |
| matière organique des tessons | Pa 507 | -12.0 | 3825 ± 100 | 2452-2138 |

La contradiction entre la première date et les trois autres démontre la précarité des datations ^{14}C des charbons de bois sur les sites de surface qui font encore partie actuellement du domaine de pâturage des nomades. Les charbons sont périodiquement remaniés et mélangés au cours du temps avec ceux provenant des foyers laissés lors du passage des nomades ; nous avons constaté le même phénomène à Afunfun (Paris, 1996). Les trois autres datations effectuées sur des matériaux de nature différente, ce qui renforce leur cohérence, permettent de dater avec précision le site. L'étude de la composition en isotopes stables du carbone de la matière organique des os brûlés ainsi que celle des poteries permettent quelques compléments d'information.

Ainsi, il est généralement admis que la matière organique des os brûlés est composée de collagène partiellement pyrolysé, ce qui explique sa conservation. Or, la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ de -20.9 ‰ trouvée pour la grande faune brûlée (buffle, gazelle, etc.) est très basse et nous a longuement intrigué. En effet, dans ces régions de savane où les graminées dominent depuis le dernier humide, le $\delta^{13}\text{C}$ du collagène des herbivores devrait être plus élevé. A Iwelen, le cuir des lincolns mis au jour dans les tombes à cratère (Paris, 1996) a une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ comprise entre -14.0 et -16.0 ‰, ce qui est normal dans un écosystème saharien et conforme aux modèles de reconstitution des réseaux trophiques. L'explication de ce décalage a été mise en évidence récemment par Alain Person. La matière organique brûlée est certes composée de collagène mais aussi tout simplement de viande adhérent à l'os frais. Cette fraction fixée par la pyrolyse partielle peut être dominante, et, pour le moins, elle influence la valeur du $\delta^{13}\text{C}$ de la matière organique brûlée car la viande n'a pas le même fractionnement isotopique que le collagène (voir modèle de Lee-Thorp *et al.*, 1989).

L'étude de la section des tessons soumis à la datation ^{14}C montre clairement que des dégraissants végétaux ont été ajoutés dans la pâte argileuse lors de la fabrication de la céramique (classe O/C*/O). La valeur de $\delta^{13}\text{C}$ de la matière organique de l'argile naturelle est comprise entre -17 et -23 ‰, et celle de la poterie datée est de -12.0 ‰. Cette différence démontre que les graminées ajoutées (-12 à -14 ‰) comme dégraissant végétal sont largement dominantes, ce qui valide la datation (cf. Méthode de datation).

TKBRN 2 (17°37'N ; 05°01'E). Ce gisement de moyenne dimension (~100 m x 50 m) est situé à 1 km au Nord de TKBRN 1, sur le versant nord de la même dune (fig. 23). Il est implanté sur une terrasse ensablée, en bordure de cuvette, dominé par une dune récente. Les vestiges sont relativement peu denses, en particulier pour ce qui concerne la faune. Les tessons de poteries sont particulièrement atteints par l'érosion éolienne, mais les décors que l'on peut encore distinguer semblent montrer qu'ils appartiennent au Néolithique récent/final. L'industrie lithique est surtout constituée de petits éclats retouchés, quelques uns en grattoirs. Les armatures sont rares et, à l'exception de deux fragments de bracelets (différents), nous n'avons pas remarqué de matériel poli.

Prélèvement de tessons de poterie (de la classe O/C*/O) et coquilles de mollusques. La datation du dégraissant végétal ($\delta^{13}\text{C} = -12.3$ ‰) a fourni un âge de 3400 ± 120 BP (Pa 757 ; âge calibré : 1872-1525 BC, 1σ).

TKBRN 3 (17°41'N ; 05°03'E). Ce site presque totalement détruit par l'érosion a été repéré au nord du cordon, dans le secteur d'In Tabakat (fig. 23). On remarque en particulier des restes humains dispersés qui traduisent l'importance de cette érosion. Quelques rares tessons attestent aussi la présence de céramique. Ce site doit probablement appartenir à l'ensemble Néolithique moyen (cf. TKNBWT 1 et 6). Nous avons daté les os d'un squelette humain ($\delta^{13}\text{C} : -5.5$ ‰) de 7175 ± 250 BP (Pa 1613 ; âge calibré : 6212-5743 BC, 1σ).

TKBRN 4 (17°37'N, 05°05'E). Ce gisement de dimension moyenne (~100m x 50m) se trouve à 5,5 km de TKBRN 2, sur le bord de la rive sud de la dépression d'In Tekebrin (fig. 23). Les vestiges, essentiellement constitués par des os d'animaux très minéralisés, à patine noire, sont issus des sédiments gris-bleu qui constituent la partie supérieure du remplissage de la cuvette. L'érosion a détruit une grande partie du site et les restes osseux s'étalent sur une centaine de mètres. Les restes de culture matérielle, très épars, se trouvent dans la partie haute du site. Nous ne voyons pas de poterie.

Le matériel lithique n'est pas suffisamment dense pour que nous fassions une collecte. Nous ne ramassons que des os d'herbivore (gazelle ?) pour datation. Le collagène étant totalement hydrolysé, nous avons travaillé sur le constituant minéral, le carbonate-hydroxylapatite (cf. Méthode de datation). Sa teneur en carbone minéral total est de 0.81 %, la valeur du $\delta^{13}\text{C}$ associé de -2.13 ‰. Après purification, la teneur en carbone tombe à 0.51 % et son $\delta^{13}\text{C}$ est de -1.95 ‰. Nous en déduisons que l'os est faiblement pollué par les calcifications secondaires et n'a probablement jamais été immergé sous un niveau lacustre. Près de 35 % de son carbone minéral est cependant d'origine *post mortem*, ce qui nécessite un prétraitement minutieux. Au cours du temps, soumis aux contraintes du milieu, l'état de cristallinité de l'os a évolué. A un index de cristallinité de 0.3 mesuré, correspond un pourcentage de carbone cristallin théorique de 0.5 et c'est la mesure expérimentale que nous avons déterminée (Person *et al.*, 1995). La valeur de $\delta^{13}\text{C}$ (-1.95 ‰) du carbonate-hydroxylapatite purifié est acceptable pour un herbivore ayant vécu dans une savane à graminées. Nous estimons donc sa datation de 8120 ± 250 BP (Pa 1108 ; âge calibré : 7415-6714 BC, 1 σ) comme fiable.

TKBRN 5 (17°37'N, 05°06'E). Ce petit gisement se trouve 2 km à l'Est de TKBRN 4, dans le même contexte que ce dernier, et il présente les mêmes caractères généraux. Le niveau noir qui semble constituer le niveau archéologique présente des polygones de dessiccation, témoins d'un épisode aride, dont les fentes sont colmatées par des sédiments carbonatés. Là encore, les vestiges de culture matérielle sont rares et diffus. Nous remarquons toutefois une pointe d'Ounan, mais toujours pas de céramique.

TKBRN 6 (~17°38'N ; 05°00'E). C'est un gisement relativement important de 300m par 150m dont l'étude a été confiée à Maga Abdoulaye, dans le cadre de sa thèse sur le Néolithique de l'Azawagh (1993). Nous avions prévu de faire trois campagnes de fouille. L'interruption du programme juste après la première campagne de mise en place du chantier fait qu'un seul ramassage systématique de la couche de surface a pu être effectué, sur 80m² (zone A). Sur 8967 objets ou restes d'objets manufacturés, 428 seulement concernent l'industrie lithique. La céramique avec 8532 tessons représente 95,15% du matériel. Il faut encore ajouter 5 fragments de vase en pierre et 2 éléments de parure (perles). Si l'on excepte les nucléus au nombre de 143, ce sont les microlithes (113 pièces) qui sont les mieux représentés. On trouve des armatures (n = 26), des perçoirs et un nombre relativement important de coches (n = 15) et denticulés (n = 10). Les lamelles sont très rares (n = 1) par rapport aux lames (n = 11) et surtout éclats retouchés (n = 36). Le matériel poli (12 pièces) est représenté par des haches – pas de micro-hache – et des herminettes (n = 3). On trouve aussi

du matériel de broyage (molettes et fragment de meules). La zone prélevée appartient à la bordure sud du site et ces décomptes ne peuvent donc pas être considérés comme représentatifs de l'ensemble du gisement.

Les restes de faune sont assez nombreux sur l'ensemble du site et 557 débris osseux, qui ne sont malheureusement toujours pas déterminés, ont été recueillis sur la surface fouillée. Dans un autre secteur, deux inhumations humaines ont été dégagées par l'érosion.

Ce site d'habitat, probablement sédentaire, nous paraît assez homogène et semble appartenir par certains des caractères de son industrie lithique et céramique, ainsi que par la présence de vaisselle en pierre, aux cultures du premier humide de l'Holocène. On ne saurait toutefois exclure une réoccupation lors des épisodes plus récents, il faudrait pour cela que nous ayons une meilleure connaissance du matériel céramique.

Nous avons retrouvé sur ce site des poteries à longues fibres végétales comme celles décrites à Tamaya Mellet 3 (*cf. infra*). Nous avons tenté deux datations sur les tessons de céramique. La première analyse a été effectuée sur un grand nombre de petits tessons (une quarantaine). Nous leur avons fait subir un prétraitement classique (soude diluée) afin d'éliminer les acides organiques du sol ayant pu se concentrer au cours du temps. L'âge ainsi obtenu est 5095 ± 200 BP ($\delta^{13}\text{C} = -13.8$ ‰ ; Pa 1100). Cette datation est l'une des premières effectuée sur ces poteries. L'adjonction des fibres végétales a pour conséquence d'augmenter considérablement la porosité des tessons. Celle-ci peut devenir un piège pour la matière organique de l'environnement. Pour cette raison, après cette première datation que nous considérons comme un essai méthodologique, nous avons abandonné les prétraitements classiques, pour ces poteries à fibres longues.

La seconde datation a été effectuée en partant d'un seul tesson de 140 g qui a subi un prétraitement à l'acide fluorhydrique concentré. Ensuite nous avons trié à la loupe binoculaire les fibres végétales partiellement brûlées. C'est un long travail pour obtenir suffisamment de carbone (0.5 g) pour une analyse ; à l'avenir la technique de comptage par SMA devrait nous permettre de résoudre cette difficulté. Nous estimons la datation de 7705 ± 120 BP ($\delta^{13}\text{C} = -14.05$ ‰ ; Pa 1580 ; Âge calibré : 6626-6379 BC, 1 σ) comme fiable et nous rejetons l'âge de 5095 ± 200 BP que nous jugeons pollué.

C'est la plus ancienne date que nous ayons déterminée sur une poterie de l'Azawagh.

La région de Lekdarat

Lekdarat apparaît comme un promontoire qui s'avance, vers le Nord, dans la partie orientale de la grande dépression d'In Tekebrin (fig. 24). Au pied septentrional de la corniche de Lekdarat constituée par les calcaires turoniens, Morel (1985b) a observé 3 niveaux de glacis pléistocènes. Le plus haut niveau, recoupant les marnes peu résistantes, est couvert par des blocs assez grossiers de calcaires. Il domine d'environ 15 mètres les ravines qui l'entaillent. Le second niveau, environ 10 m plus bas, recoupe d'anciennes dunes de sables rouges. Il est couvert de petits blocs et galets de 5 à 10 cm de diamètre en moyenne, qui la protègent contre les ruissellements. Ce niveau a ensuite été raviné et une autre dune rouge se trouve plaquée par-dessus, plus au Nord. Ces deux dunes rouges séparées par un épisode humide illustrent bien le caractère polygénique de l'erg ancien évoqué à Takene Bawat.

Les sites archéologiques que nous avons repérés se trouvent au Nord du puits de Lekdarat, sur les pentes des dunes rouges implantées entre le promontoire de Lekdarat et la falaise d'In Wazag, à l'Est (fig. 24). Les traces d'occupation néolithiques sont fréquentes mais nous ne nous sommes arrêtés que sur les trois gisements les plus importants.

LKDRT 1 (17°35'N - 5°20'E). C'est un petit site d'environ 80m de diamètre, installé sur le versant sud de la grande dune, juste au Nord des chicanes rocheux qui marquent la zone des puisards. Nous remarquons plusieurs petites zones de cuisson et quelques concentrations d'éclats et de déchets de débitage lithique. Les zones de cuisson ou foyers se traduisent par des concentrations d'ossements brûlés et de sédiments noirs et indurés. Les grattoirs et les armatures se remarquent particulièrement et donnent l'impression d'être proportionnellement dominants dans la panoplie de l'outillage lithique. La céramique par ses décors où les impressions en arc de cercle dominant, se rattache au Néolithique récent/final (4500-3500 BP).

LKDRT 2 (17°35'N - 5°20'E). Ce gisement, à peine plus grand que le précédent, n'est situé qu'à 200 m de celui-ci. Le matériel archéologique est très comparable ; ces deux sites appartiennent évidemment à la même période culturelle et peut-être faudrait-il réunir ces deux zones d'habitats en un seul gisement. Parmi la céramique on trouve des tessons aménagés que nous interprétons comme des formes utilisées pour le montage des vases par martelage. Ce site pourrait donc avoir connu une activité de production de poterie. Parmi la faune, nous remarquons du bœuf. Prélèvement d'industrie lithique et de céramique.

Entre LKDRT 2 et 3, nous repérons plusieurs petits sites sur les ensablements rouges plaqués contre le promontoire de Lekdarat. Ces petits habitats sont implantés soit sur les pentes, soit sur le sommet des dunes, et même parfois dans les creux interdunaires. On les identifie facilement par leur sol rubéfié. Dans l'un de ces creux interdunaires nous trouvons un tas d'os, lithifiés et délités mais probablement en connexion, d'aspect comparable aux restes d'hippopotame observés à Takene Bawat et au Nord de Mentès (*cf. supra*).

LKDRT 3 (17°37'N - 5°17'E). Ce gisement de grande taille est installé sur le versant sud de l'ensablement nord de l'escarpement de Lekdarat (fig. 24). Il mesure 500m de long et se prolonge sur le versant sud, vers l'espace interdunaire, à l'opposé de la zone d'inondation délimitée par l'ensablement nord de Lekdarat et les dunes d'In Wazag. Au premier abord le site semble comparable aux précédents. Cependant, dans la partie basse, on ne trouve qu'exceptionnellement de la céramique, décorée par impressions au peigne, directes ou pivotantes. L'industrie lithique se caractérise par un débitage lamellaire important, des pointes d'Ounan de petites tailles et des microlithes. Si la céramique est rare, on trouve en revanche de nombreux vestiges de vaisselle en talcschiste. Dans la partie haute du site, on ne trouve aucune pointe d'Ounan mais des grattoirs ainsi que des armatures. Le matériel céramique est nettement plus important et l'on observe de nouveau, comme sur les sites précédents (LKDRT 1 et 2), des motifs par impressions au peigne en arc de cercle ; on trouve aussi des tessons aménagés qui servent à la fabrication des poteries. La partie basse de ce vaste gisement serait donc dans l'ensemble plus ancienne que la partie haute qui appartient au Néolithique récent (4500-4000 BP). Toutefois, ces deux occupations se recouvrent en partie et la partie basse apparaît comme la plus homogène.

Collecte de charbon et poterie pour datation. Un âge de 4235 ± 150 BP (Pa 659 ; âge calibré : 3030-2580 BC, 1 σ) a été obtenu sur le dégraissant végétal de la céramique et les charbons de bois prélevés en sub-surface ont fourni une date de 3175 ± 200 BP (Pa 740). Cette dernière est-elle représentative de la dernière occupation humaine ou reflète-t-elle un mélange de particules charbonneuses sans signification chronologique ?

La région de Tin Kotkon et Tasa Takorat

Cinq kilomètres environ au Sud de Lekdarat, s'étend un couloir interdunaire de direction sensiblement ENE-WSW, délimité par les massifs

sableux d'Azarak (fig. 24). L'extrémité nord-est de ce massif s'appelle Tin Kotkon, du nom de la dépression inondable située 2 km à l'Est des puisards de Tasa Takorat. Des dépôts sédimentaires sont visibles au fond de ce couloir, notamment au pied du cordon dunaire de Tin Kotkon (photo 18, hors-texte). Sur une quinzaine de km s'étendent, comme en chapelet, des affleurements calcaires riches en diatomées dont la puissance n'excède pas un mètre et dont le diamètre varie entre 30 et 80m.

TNKTKN 0 (17°32'N, 5°20'E). Nous nous sommes arrêtés sur le dépôt le plus oriental pour effectuer plusieurs prélèvements. Les coquilles de mollusques aquatiques sont abondantes et semblent se distribuer par niveaux. Les planorbes et les bulins sont plutôt dispersés au fond, les *Caelatura* et les *Unio* restent agglomérés par endroits, en position de vie. Les *Mélanoïdes* sont plutôt dans la partie supérieure et à la surface du dépôt. Des limicolaires et des thèques se trouvent sur le sable qui recouvre les niveaux carbonatés. Dans le fond du dépôt diatomitique, on observe des structures alvéolées, en nid de guêpes. Il pourrait s'agir de thèques de larves d'insectes de type phryganes (indusies), dont l'agglomération peut former des calcaires (cf. Oligocène de Limagne). Toujours dans le fond des dépôts, se trouvent des vertèbres de poissons, en particulier des *Lates niloticus*, ce qui indique une eau relativement profonde ou oxygénée. On trouve aussi, dans les carbonates, des restes de mammifères, dont une mandibule de bovidé.

Datations : *Mélanoïdes* sp. : 8300 ± 200 BP ($\delta^{13}\text{C} = 1.31\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -2.06\text{‰}$; Pa 620) et *Mélanoïdes* sp. : 4630 ± 120 BP ($\delta^{13}\text{C} = 2\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -5.97\text{‰}$; Pa 890).

TNKTKN 1 (17°30'N, 5°20'E). Sur la grande dune rouge qui domine le couloir, nous localisons un site de dimension moyenne, d'allure ancienne, aux vestiges très dispersés et partiellement recouverts par le sable. Ce voile sableux, qui change en permanence au gré des vents, masque une industrie lithique qui semble se caractériser par un outillage léger, sur lamelles. En revanche, on distingue mieux les fragments de récipients en pierre, probablement en talcschiste. On remarque aussi quelques éléments de parure : un fragment de bracelet et un cylindre à perforation biconique, en amazonite. Des dents humaines sont, avec quelques os de la main, les seuls restes d'un squelette d'adulte, totalement exhumé et détruit par l'érosion éolienne. L'action de cette érosion se manifeste aussi sur l'état de conservation des décors de poterie, à peine lisibles. L'une d'elle, trouvée en limite de site, bien que totalement brisée, paraît remontable. On distingue, par le degré de finesse de la pâte et leur épaisseur, deux types de céramique, les plus grossières se caractérisant par une plus forte proportion de dégraissant végétal.

Nous prélevons pour datation des tessons des deux types de poterie : l'un à paroi épaisse à dégraissant végétal bien marqué et l'autre plus fine à dégraissant végétal plus discret. Ces derniers tessons proviennent d'une poterie, brisée mais qui paraît entière, en bordure de site. Prélèvement également de fragments de pots en talcshiste, des dents humaines et du cylindre perforé en amazonite.

TNKTKN 2 (17°30'N, 5°20'E). Ce site, de dimension moyenne, est installé sur dune blanche, en bordure des dépôts carbonatés. Les vestiges archéologiques sont, là aussi, dispersés. Le matériel lithique où l'on remarque des grattoirs et une industrie plutôt sur éclat que lamellaire, est peu abondant. On trouve un harpon en os. La poterie est rare.

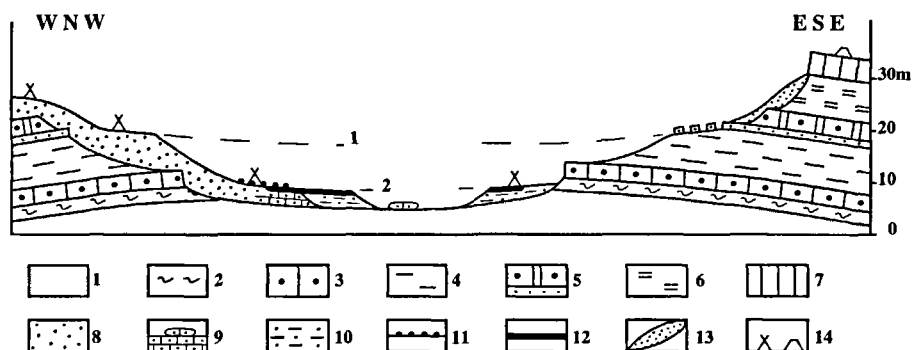
Prélèvement de sédiment carbonaté en bordure du site et de *Caelatura* sp. sur la dune qui ont été datées de 3970 ± 80 BP (Pa 874). Collecte de poterie pour datation.

A l'est de Tin Kotkon, les dunes qui bordent, au Nord, la vallée de Tasa Takorat montrent une occupation continue à partir du néolithique récent ; il semblerait que cette région, plus méridionale, ait été occupée plus durablement que l'Azawagh proprement dit. Les vestiges que nous y trouvons sont mélangés et ces gisements de surface ne peuvent en aucun cas permettre de caractériser une période précise, ceci malgré l'abondance du matériel. Le problème est le même dans la vallée d'In Teduq où les mêmes emplacements ont été occupés, probablement sans ou peu d'interruption, depuis au moins 5000 ans.

Conclusion partielle. Les datations obtenues sur coquilles varient entre 8300 BP sur *Melanoïdes* et 4000 BP sur *Caelatura*. On aurait donc ici trois épisodes : le plus ancien, correspondant au Néolithique ancien et les deux derniers correspondant au Néolithique récent et final. Les vestiges archéologiques paraissent plutôt appartenir à des faciès archaïques que récents et il est dommage de ne pas disposer de plus de datations sur les dégraissants des poteries. Cette carence est due à la nature des poteries, de facture assez semblable à celles décrites à TMY 3 et datées de 7400-7600 BP. Légèrement mieux cuites, les fibres végétales ont été presque entièrement consommées. Des essais sont cependant en cours pour dater quelques milligrammes de dégraissant bien identifiés, par la technique des SMA (spectrométrie de masse par accélérateur).

FIGURE 28 : Coupe de la vallée de Tamaya Mellet au niveau des dunes d'In Wejeg, établie d'après nos observations et d'après les travaux de Greigert (1966) et Morel (1985b).

1 : argiles sableuses et argiles lie-de-vin (Crétacé continental) ; 2 : argiles et marnes (Cénomanién supérieur) ; 3 : lumachelle à matrice gréseuse et ciment calcaire (Cénomanién supérieur) ; 4 : alternances de marnes, argiles et grès (Turonien inférieur) ; 5 : grès et grès calcaires (Turonien inférieur) ; 6 : alternances d'argiles et marnes (Turonien supérieur) ; 7 : calcaires blancs (Turonien supérieur) ; 8 : dune ancienne rouge à brun-rouge, grésifiée dans les zones basses ; 9 : les parties grésifiées montrent des cannelures indiquant une érosion éolienne ; ces cannelures ont parfois été détachées puis usées et elles se présentent alors avec un « faciès coprolithe » ; 10 : sable argilo-silteux gris ; 11 : galets calcaires ; 12 : induration calcaire grise à gris-noir rappelant le « faciès tapis-brosse » ; 13 : placages de sables éoliens ; 14 : sites néolithiques et tumulus.



La région de Tamaya Mellet

Contexte géologique et géomorphologique

La région de Tamaya se présente comme une grande entaille Nord-Sud dans les niveaux calcaires qui bordent la rive gauche de l'Azawagh (fig. 24). On pourrait la considérer comme une vallée affluente si sa pente n'était pas inverse, le niveau étant plus bas en amont qu'en aval. Cette vallée très large a dû connaître aux périodes humides plio-quaternaires des écoulements importants. Son amont qui forme un véritable entonnoir de percée cataclinale dans la cuesta des calcaires turoniens amène à penser qu'elle a peut-être été suivie par un cours ancien de l'Azawagh, dont le méandre a ensuite été recoupé plus au nord (Morel, 1985b). Elle entaille les plateaux dont la surface est formée par les calcaires blancs du Turonien supérieur (Greigert, 1966). Cette surface termi-

nale, apparemment substructurale, correspond en fait à la surface d'érosion « fini-Ct » (fin du Continental terminal), soit postérieure au Pliocène inférieur (Durand, 1995). Ce calcaire présente des dalles lapiazées. Les lapiaz, presque tous de direction WNW-ESE, c'est-à-dire orthogonaux au pendage, se sont sans doute réalisés en fonction de la pente de la surface. L'ablation a découpé le sommet de la voûte anticlinale où la vallée s'est ensuite installée (Morel, 1985b).

Sous la dalle calcaire sommitale, les versants présentent deux replats structuraux qui fournissent des repères régionaux remarquables (Greigert, 1966). Le plus bas est constitué par une lumachelle du Cénomanien supérieur (fig. 28, n°3) ; le plus haut correspond à un niveau de grès micacés fins et compacts, surmonté de grès calcaires du Turonien inférieur (fig. 28, n°5). Deux autres niveaux semblent correspondre aux terrasses récentes que nous avons observées précédemment. La première, environ 12 à 15m au-dessus du talweg, est parfois recouverte par des blocs de grès de 30 à 40 cm d'épaisseur qui proviennent sans doute du niveau gréseux remarquable démantelé et en assurent la protection. On la trouve sur l'autre rive, entaillant la dune rouge. En ce lieu elle serait donc postérieure à l'installation de l'erg ancien. Mais rien ne nous prouve que sur le versant taillé dans les dépôts secondaires, elle ne soit pas nettement antérieure.

Les sables rouges ont été grésifiés à la base, puis soumis à l'érosion éolienne qui a sculpté des cannelures. Détachées puis usées au cours d'un déplacement vers les parties les plus basses du paysage, certaines cannelures se présentent alors en morceaux avec un « faciès coprolithe ».

Plus bas, seulement 3 à 5m au-dessus du fond de la vallée se trouve le niveau le plus net de glaci-terrasse. Il recoupe tantôt des sables rouges plus ou moins grésifiés, couverts d'un épandage de galets calcaires, tantôt des sables argilo-silteux gris dont le sommet est induré localement par du carbonate sur 10 à 20 cm d'épaisseur. Lorsque l'érosion en a dégagé les parties les plus tendres, cette induration de couleur grise à gris-noir rappelle le « faciès tapis-brosse » décrit précédemment. Elle s'en distingue par le ciment calcaire au lieu de ferrugineux, ce qui peut être lié à la composition des roches du substrat, mais aussi par sa texture plus fine et, notamment, par l'absence de très grandes tubulures racinaires. On observe localement des fragments de même faciès mais de couleur noire et beaucoup plus indurés qui pourraient provenir d'un niveau plus ancien totalement démantelé.

Sites archéologiques

Nous avons déjà décrit (p.99 et p.100) les deux sites repérés dans la partie nord de la vallée (AZWK 8 et 9, fig. 24), nous ne nous intéressons donc ici qu'aux sites de la partie sud.

TMY 1 (17°34' N ; 5°26 E). Ce gisement de taille moyenne (~ 300 x 100m) est implanté sur la plus méridionale des deux dunes appuyées contre la falaise de Chilegard. Le matériel archéologique est varié : lithique, faune, céramique. Le matériel lithique se caractérise par le grand nombre de pointes d'Ounan (fig 30.1), mais on trouve aussi des armatures, des lamelles retouchées et quelques haches polies. Nous avons recueilli aussi un fragment de harpon en os. La céramique décorée est rare et les quelques motifs que nous avons pu observer sont obtenus par des impressions au peigne et appartiennent plutôt au néolithique récent-final. Toutefois, de nombreux tessons proviennent de vases non décorés de facture post-néolithique. On trouve aussi des fragments de vases en pierre. Nous avons prélevé de l'outillage lithique, des harpons en os, des fragments de vase en pierre, de la céramique et de la faune. Du *Bos taurus* (*brachyceros* ?) a été identifié parmi les déchets de cuisine.

Lors d'une première mission, nous avons fouillé un foyer (F1), dont les charbons ont été datés de 8230 ± 300 BP (Pa 236 ; âge calibré : 7532-6855 BC, 1 σ), âge qui nous semble en accord avec l'industrie lithique dominante. Lors d'une seconde mission, nous avons fouillé deux zones de déchets brûlés afin de confirmer le résultat de la première campagne. Le premier sondage correspond en fait à une sépulture humaine, recouverte par des déchets de cuisine. Le squelette, partiellement brûlé, est en très mauvais état. On peut toutefois voir qu'il est inhumé sur le côté gauche, dans une attitude fléchie, la tête orientée vers le Nord (Paris, 1996, p. 44). Sous l'inhumation, et sans aucune association avec celle-ci, on remarque un niveau, lui aussi brûlé, avec de très petits tessons, des esquilles d'os et un fragment de harpon. Ce niveau est de toute évidence antérieur à l'inhumation, mais il n'y avait malheureusement pas suffisamment de matériau pour le dater par le ^{14}C . En revanche la sépulture a été datée, grâce aux restes osseux de cuisine associés au squelette, de 3860 ± 160 BP (Pa 1052 ; âge calibré : 2258-2041 BC, 1 σ). Le second sondage a révélé des tessons de poterie qui recouvrent des ossements de bovidé calcinés. Les charbons prélevés parmi les ossements ont donné un âge de 3060 ± 90 BP (Pa 410 ; âge calibré : 1410-1166 BC, 1 σ), confirmé par la date obtenue sur le dégraissant végétal de la poterie, composé de graminées ($\delta^{13}\text{C} = -13.4$ ‰) : 3060 ± 140 BP (Pa 411 ; âge calibré : 1491-1076 BC, 1 σ). Un autre petit foyer composé de résidus de cuisine et protégé de l'érosion par de gros tessons a également été daté. La datation du mélange de charbons et d'os brûlés a fourni une date de 3640 ± 150 BP (Pa 738 ; âge calibré : 2197-1772 BC, 1 σ). Les tessons associés ont été étudiés en coupe. La poterie est à dégraissant minéral, les concentrations en carbone organique sont faibles, de l'ordre de 0.1-0.2 % à un millimètre sous les surfaces internes et externes ($\delta^{13}\text{C} = -18.0$ ‰) et de 0.3 % au centre ($\delta^{13}\text{C} = -20.0$ ‰). Ces teneurs en ^{13}C sont voisines de celles de la matière organique des marigots en eau et des bords du Niger (tab. 2), ce qui confirme l'absence de tout

apport significatif en dégraissant végétal. Nous avons noté, par ailleurs, la présence massive sur la surface interne de quelques tessons de fortes concentrations de carbone organique partiellement pyrolysé issu de résidus alimentaires ($\delta^{13}\text{C} = -16.3 \text{ ‰}$). Le faible gradient en concentration en carbone, de la surface au centre, étaye l'hypothèse d'une cuisson à température pas très élevée et en milieu bien oxygéné. Nous avons délicatement détaché les dépôts alimentaires des faces internes des tessons et effectué leur datation. L'âge obtenu est de $3735 \pm 150 \text{ BP}$ (Pa 735 ; âge calibré : 2393-1924 BC, 1σ). Dans l'ensemble, ce site paraît plutôt homogène et se rattacherait au Néolithique ancien par la présence de harpons, de pointes d'Ounan et de bols en pierre. Toutefois, le matériel céramique, peu abondant, montre qu'il y a eu aussi des installations moins importantes aux périodes ultérieures ; les datations obtenues confirment qu'il fut réoccupé au moins au Néolithique final et au post-Néolithique.

D'un point de vue chronologique TMY 1 est une bonne illustration des difficultés rencontrées sur les sites de surface de l'Azawagh. Le diagnostic archéologique est clair : le site se rattache, par son industrie lithique, au néolithique ancien, ce que confirme la datation obtenue sur le premier foyer fouillé. Cependant, lors de la campagne suivante, tous les matériaux analysés ont fourni des dates comprises entre 3000 et 3860 BP. Avons-nous daté les occupations marginales postérieures ou devons-nous mettre en cause le diagnostic ou les analyses ? La clé du problème repose sur la fiabilité des datations, hors les deux seuls matériaux généralement considérés comme sûrs sont le collagène et le charbon. Le premier est totalement hydrolysé sous ces latitudes et le second souvent remanié comme nous l'avons démontré à In Tekebrin. C'est cette impasse, flagrante sur ce site, qui justifie entièrement le long investissement méthodologique que nous avons entrepris. Pour résoudre ce problème chronologique nous avons croisé les dates entre dégraissants végétaux des poteries et charbons pour les deux foyers fouillés. La très bonne convergence de ces cinq dates lève toute objection quant à leur fiabilité. Au cours de cette seconde campagne nous avons bien daté une occupation humaine postérieure de près de 4000-5000 ans au Néolithique ancien.

TMY 2 ($17^{\circ}35' \text{ N}$; $5^{\circ}26' \text{ E}$). Ce site, de mêmes dimensions que le précédent, est implanté sur la seconde dune, un peu plus au Nord (fig. 24). Nous n'y avons trouvé que du matériel lithique, avec en particulier des armatures de pointe de flèche, mais pas de pointes d'Ounan. Les éclats de débitage sont abondants et on constate la pauvreté du débitage lamellaire. On remarque aussi quelques haches polies. Malgré l'absence de matériel céramique, ce site pourrait se rapporter au Néolithique récent.

TMY 3 (17°36' N ; 5°24 E). C'est un très grand site de près d'un km de long sur 800 m de large, installé sur pratiquement toute la partie sud-est de la dune d'In Wejeg qui ferme au Sud la dépression de Tamaya (fig. 24). C'est ce site qui a été découvert par Le Rumeur le 2 mars 1931 et dont l'étude a ensuite été reprise par Lhote lors de différentes missions, en 1936, 1950 et 1970. A l'occasion de cette dernière mission un âge ^{14}C de 9350 ± 170 BP (Gif 1728, Delibrias *et al.*, 1974), soit un âge calibré circonscrit entre 8831-8098 BC (1σ), a été obtenu sur des os de grands mammifères (hippopotame ?). Ce résultat fit sensation lors de sa publication, d'autant plus qu'il situait alors Tamaya Mellet comme le plus ancien des gisements néolithiques sahariens connus. Camps contesta cette ancienneté en argumentant que l'industrie de Tamaya Mellet est comparable à celle de Taferjit, site daté de 4080 ± 110 BP (Gif 1727, Delibrias *et al.*, 1974) sur des coquilles de mollusques d'eau douce.

Notre premier objectif était donc de préciser la chronologie de ce site. Deux niveaux ont pu être distingués par la topographie et la patine, mais il en existe certainement d'autres que seule une fouille prolongée pourrait permettre de distinguer. Ainsi, sur le replat d'une dune brun-rouge, on observe un niveau carbonaté gris peu induré rappelant le faciès « tapis-brosse », dans lequel sont pris des ossements d'hippopotame et des coquilles de mollusques (principalement des *Caelatura* sp.). Ce niveau correspond peut-être à une ligne de rivage, étant entendu que c'est la faune qui caractériserait un milieu aquatique, l'induration étant plutôt rapportée à un paléosol postérieur au milieu aquatique. Les datations des *Caelatura* à 5895 ± 90 BP ($\delta^{13}\text{C} = -1.31\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -6.9\text{‰}$) (Pa 306) et de l'induration carbonatée à 4210 ± 110 BP ($\delta^{13}\text{C} = -2.3\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -2.2\text{‰}$) (Pa 436) appuient cette interprétation. Il existe également un autre type de sédiment à faciès « tapis-brosse », noir et très induré. Présent en fragments sur le site, il provient probablement d'un niveau plus ancien démantelé. Il pourrait s'agir du paléosol contemporain des *Caelatura* et des hippopotames. La différence de couleur concerne également les fossiles. Toute la partie basse du site se caractérise par des vestiges fortement minéralisés, à patine noire, alors qu'au-dessus du niveau carbonaté les vestiges n'ont plus la patine noire caractéristique du niveau inférieur. Nous avons donc effectué des collectes selon ces deux zones à patines différentes.

Philippe Columbeau a fait les mêmes observations pour la distribution de la faune : « Pour ce qui est de la faune, le site peut être divisé en deux secteurs. A l'est le site est très riche en restes de faune dont la plupart des fragments sont recouverts d'une patine sombre. Les restes sont variés, groupés en bandes allongées, séparées les unes des autres par des zones sur lesquelles les restes sont plus rares. Sur ces bandes, les restes très abondants de poissons et de reptiles (crocodiles et tortues) mais aussi de

mammifères supérieurs de la taille d'une gazelle, sont déposés d'une manière qui suggère très fortement des restes de cuisine et supposent une nourriture abondante et variée. Les fragments sont le plus généralement petits, avec une patine sombre, mêlés de cendres. Les débris de silures sont de coloration noire très foncée et le plus souvent regroupés en petits tas ou poches, mêlés de cendres et de sable rubéfié. Le secteur ouest du site, moins étendu, contient beaucoup moins de restes de faune. Celle-ci a une patine blanche et est moins carbonisée. Cependant, la liste des espèces présentes est tout aussi variée que celle retrouvée à l'Est. Il faut même y ajouter l'autruche. La description de la composition des zones à forte densité de restes de faune n'apporte pas grand-chose, car il n'est pas possible d'y distinguer des emplacements privilégiés pour une ou plusieurs espèces animales données. Sauf pour les poissons qui sont, comme nous l'avons vu, le plus souvent regroupés en poches ». Quelques limicolaires ont été datés de 5060 ± 100 BP (Pa 373 ; $\delta^{13}\text{C} = -6.13\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -4.78\text{‰}$).

Sur le niveau inférieur nous avons dégagé et tenté de dater trois sépultures (TMY 3 H1, TMY 3 H2a, TMY 3 H2b ; Paris, 1996). Le collagène ayant été totalement hydrolysé nous avons travaillé sur le carbonate-hydroxylapatite. Comme nous l'avons décrit, tous ces squelettes étaient pris dans une induration carbonatée déjà datée de 4210 ± 110 BP. Nous avons établi un bilan de la fraction minérale totale de chaque squelette :

| désignation | C total % | carbonate hydroxylapatite % | $\delta^{13}\text{C}$ carbonate hydroxylapatite ‰ |
|-------------|-----------|--------------------------------|--|
| TMY 3 H1 | 3.25 | 0.45 | -7.40 |
| TMY 3 H2a | 4.25 | 0.57 | -7.60 |
| TMY 3 H2b | 3.80 | 0.50 | -7.64 |

Comme il était prévisible, la teneur en carbone minéral total est très élevée car les indurations carbonatées ont envahi la structure poreuse des os. Cependant, on aurait pu envisager que cette carbonatation brutale ait rendu négligeable les petites précipitations de calcite liées au système hydrologique local. Il n'en est rien, l'âge obtenu lors d'un essai sur le carbonate total du squelette TMY 3 H2b, 2840 BP, soit 1400 ans plus jeune que les indurations le recouvrant, le démontre. En Afrique saharienne la carbonatation des ossements de surface, liée aux rares précipitations, est continue jusqu'au moment de la mise au jour des ossements. Pour pouvoir dater ces squelettes, nous avons appliqué les prétraitements décrits (cf. Méthode de datation). Nous éliminons ainsi 90 % du carbone minéral des squelettes. Les $\delta^{13}\text{C}$ (-1.8 ‰) des calcites éliminées, légèrement moins négatifs que ceux des indurations carbonatées (-2.3 ‰) confirment la per-

manence de petites précipitations proches de l'équilibre isotopique avec le CO₂ atmosphérique. Le carbonate-hydroxylapatite ainsi purifié a une teneur en carbone de l'ordre de 0.5 % pour les trois squelettes analysés et leur indice de cristallinité est de 0.3. La relation indice de cristallinité versus carbone minéral est respectée. L'absence, ou du moins la faiblesse des échanges isotopiques dans la maille cristalline, est confirmée par les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate-hydroxylapatite (-7.64 ‰, -7.4 ‰, -7.6 ‰) très homogènes et éloignées de celles des indurations carbonatées (-2.3 ‰). Ces teneurs en ^{13}C du carbonate-hydroxylapatite des squelettes, en l'absence du collagène (*cf.* Méthode de datation), ne nous autorisent pas à les interpréter directement en terme de paléalimentation. Elles nous permettent néanmoins de comparer et de différencier les différents groupes humains de l'Azawagh (*cf. infra* Discussion et conclusion). En conclusion, l'ensemble de ces données nous permet de valider les datations.

| N° du squelette | N° Labo. | Âge BP | Âge calibré BC |
|-----------------|----------|------------|----------------|
| TMY 3 H1 | Pa 1042 | 5245 ± 150 | 4250-3823 |
| TMY 3 H2a | Pa 1068 | 5230 ± 100 | 4223-3956 |
| TMY 3 H2b | Pa 1047 | 4870 ± 110 | 3773-3531 |

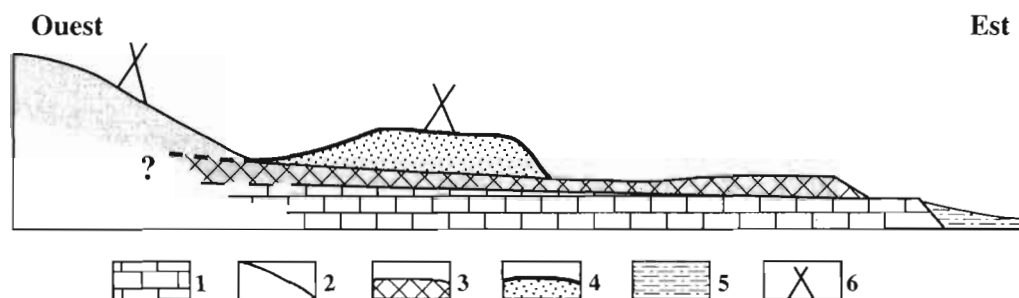
Sur le niveau supérieur les restes humains qui attestent l'existence de sépultures sont également assez nombreux, mais celles-ci sont toutes déstructurées par l'érosion éolienne. Nous n'avons trouvé aucun squelette en connexion, même partielle. Les sépultures de la partie basse du gisement ne doivent leur préservation qu'à la matrice sableuse carbonatée qui les recouvrait. A ce niveau, nous avons trouvé de nombreux tessons dont un groupe à dégraissant végétal très caractéristique (photo 19, hors-texte). Les végétaux incorporés ne sont pas hachés menus comme c'est généralement le cas pour faciliter le mélange dans la pâte argileuse. Sur chaque tesson, les empreintes végétales sont très denses, sinueuses et d'une longueur de plusieurs centimètres pour un diamètre de l'ordre du millimètre. Les poteries sont de facture assez grossière (classe C/C*/C). Lors de la cuisson ces longues fibres végétales ont presque totalement brûlé ce qui a rendu leur datation difficile. Ce type de poterie se retrouve à Tin Kotkon, In Tekebrin et Takené Bawat. Les tessons répertoriés sous le numéro 86-09 ont fourni un âge de 7550 ± 150 BP (Pa 1571, âge calibré : 6469-6186 BC, 1σ ; $\delta^{13}\text{C}$ = -16.20 ‰) et ceux sous le numéro 87-09 un âge de 7415 ± 150 BP (Pa 1574, âge calibré : 6379-6060 BC, 1σ ; $\delta^{13}\text{C}$ = -13.50 ‰). L'épisode de l'Holocène ancien déjà attesté par la présence des harpons et de pointes d'Ounan et auquel pourrait correspondre certains restes de la faune est ainsi mis en évidence par les datations des poteries.

Prélèvements : matériel lithique, osseux (harpons), céramique, squelettes humains, sédiments.

Collecte de faune : *Bos (palaethiopicus ?)*, du buffle (*Syncerus caffer ?*), de la gazelle, de l'antilope (*Oryx?*), du phacochère, de l'éléphant, de l'hippopotame, du crocodile du Nil et de la tortue, des silures, de l'autruche.

FIGURE 29 : Coupe géologique schématique du site TMY 4.

1 : calcaire crétacé ; 2 : dune rouge de l'erg ancien ; 3 : base grésifiée de la dune rouge ; 4 : sable argilo-silteux gris, induré en surface par le carbonate ; la partie indurée a été érodée et se présente sous un aspect peu compact rappelant le « faciès tapis-brosse » ; 5 : limons ; 6 : sites néolithiques.



TMY 4 (17°34' N ; 5°24' E). Ce site se trouve au sud du massif dunaire central d'In Wejeg, à environ un km de TMY 3. La dune rouge de l'erg ancien a été grésifiée à la base (fig. 29). Une érosion éolienne postérieure en a dégagé des lambeaux qui ont été usés et se présentent maintenant sous le « faciès coprolithe ». Les parties basses ont été recouvertes par un dépôt sableux argilo-silteux gris qui a été également en grande partie érodé. En surface, ce dépôt présente un niveau gris-noir induré par le carbonate et qui a également été partiellement érodé ; les parties les plus tendres ayant disparues, il se présente maintenant sous un aspect peu compact rappelant le « faciès tapis-brosse ». Les vestiges archéologiques se trouvent en partie sur la dune rouge mais aussi, et surtout, sur les sables argilo-silteux gris qui s'étendent au pied de celle-ci. Des limicolaires y ont été prélevés, leur âge est de 7070 ± 120 BP (Pa 1580 ; $\delta^{13}\text{C} = -6.45 \text{ ‰}$ et $\delta^{18}\text{O} = -7.7 \text{ ‰}$). Datation sur coquilles d'*Unio* : 4155 ± 80 BP (Pa 366). On a recueilli sur ce niveau une pointe d'Ounan et des segments de cercle du Néolithique moyen. La céramique est décorée par impressions et les motifs évoquent dans l'ensemble ceux du Néolithique moyen.

Nous avons dégagé une poterie entière, ouverture vers le haut. Nous avons mesuré la teneur en matière organique du sable argilo-silteux la

recouvrant afin de contrôler l'éventuelle contamination par diffusion dans la porosité de la poterie. Celle-ci est faible (0.07 %), ce qui est normal dans ce contexte aride ; son $\delta^{13}\text{C}$ de -14.5 ‰ est celui d'un couvert végétal de graminées probablement actuel.

Nous avons pratiqué des coupes dans les tessons soumis à la datation. Les empreintes laissées par les dégraissants végétaux sont ici peu décelables en lame mince. Cependant au cœur du tesson, la concentration en carbone est forte (0.9 %, $\delta^{13}\text{C}$ = -21 ‰) ; Saliège et Person (1991a) estiment que la cuisson des poteries dans des dispositifs rudimentaires entraîne une diminution de leurs teneurs en carbone organique d'un facteur trois à cinq. La teneur en carbone organique de la pâte argileuse devait donc être comprise entre 3 et 5 %. Seul un apport volontaire dans la pâte peut expliquer ces fortes teneurs. Les faces externes et internes sont de couleurs opposées, blanche et noire. La couleur de la face interne, d'un beau noir mat a été obtenue par enfumage ; les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ très négatives (-23 ‰) et la forte concentration en carbone du dépôt sur la surface interne (1.1 %) en sont la preuve. Sous la face externe, les concentrations sont très faibles (0.02 %, $\delta^{13}\text{C}$ = -21.1 ‰). Ces données nous autorisent à proposer un modèle de cuisson des céramiques (classe O/C*/C). Les poteries devaient être cuites en tas, mais disposées ouverture vers le bas ; le combustible englobant l'ensemble. La cuisson se fait alors en milieu bien oxygéné, ce qui explique la concentration très faible en carbone ainsi que sa couleur blanche. Par contre, à l'intérieur de chaque poterie, l'absence de ventilation crée un micro-milieu réducteur où le carbone se concentre, le but recherché étant d'améliorer l'imperméabilité de la céramique.

Nous avons daté la matière organique globale de la poterie, nous estimons sa datation de 4825 ± 150 BP (âge calibré entre 3767 BC et 3378 BC, 1σ ; Pa 685) fiable, mais insatisfaisante. Il faudrait pour ce site des datations complémentaires sur les échantillons ramassés dans la partie basse, pour savoir si ce site est Néolithique récent (comme l'indiquerait la poterie entière) ou plus ancien, ce que laisse supposer l'industrie lithique (pointe d'Ounan, Néolithique ancien) et le décor des autres tessons (Néolithique moyen ?). L'hypothèse la plus probable est que la poterie entière provienne du niveau d'occupation de la dune.

La région de Chilegard

La falaise de Chilegard borde sur l'est la vallée de Tamaya qu'elle domine d'environ 40m (fig. 24). Le premier niveau de cette falaise a été entaillé par les ruissellements. Les installations néolithiques se sont faites sur des ensablements rouges, en bordure de petites dépressions. Nous

avons repéré trois sites, sur lesquels les vestiges sont très dispersés. L'industrie lithique, comme la céramique, sont dans la tradition du Néolithique récent. Le site le plus oriental (17°42'N, 5°29'E) est implanté sur le bord d'une petite dépression lacustre qui a été datée de 4555 ± 80 BP (Pa 369, coquilles de *Caelatura*). Les monuments funéraires sont plus nombreux dans cette région. Nous remarquons en particulier deux concentrations, l'une à l'extrême sud de la falaise, dans la région d'In Elras, avec des tumulus coniques de type ordinaire (TSS), l'autre, légèrement au nord de TMY 1, que nous avons commencé à étudier.

TMY N 1 (17°37'N ; 05°28'E). Ce petit groupe de 7 monuments funéraires est implanté sur le bord occidental de la falaise de Chilegard. Il est intéressant par la variété des architectures : un tumulus en croissant (photo 20, hors-texte et fig. 30.2a), une bazina à alignement de petites tours (fig. 30.2b), un tumulus simple (fig. 30.2c), une enceinte rectangulaire (fig. 30.2d), et 2 tumulus à cratère (fig. 30.2f et e) (Paris, 1996). Nous avons fouillé le tumulus en croissant (TMY N1C1) tout à fait classique par sa forme et son orientation (grand axe nord-sud, bras ouverts vers l'Est). Son démontage toutefois révèle l'inhumation simultanée de huit corps, ce qui est exceptionnel pour un monument de ce type. C'est même le premier cas que nous rencontrons.

La datation du carbonate-hydroxylapatite purifié des os a fourni un âge de 3435 ± 100 BP ($\delta^{13}\text{C} = -5,04\text{‰}$; Pa 1366 : âge calibré : 1879-1618 BC, 1 σ). Des coquilles de limicolaires, recueillies dans la « chambre » funéraire, ont été datées de 3600 ± 80 BP ($\delta^{13}\text{C} = -7,3\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -4,6\text{‰}$; Pa 428 : 2032-1824 BC, 1 σ). Comme il s'agit d'une « escargotière » et non d'une offrande funéraire, cette date devrait être soit contemporaine ou soit légèrement postérieure à la construction du monument, or les limicolaires fournissent un âge apparent antérieur de 165 ans. Tenter d'interpréter cette faible différence, à la limite des marges d'erreur (après calibration les fourchettes des deux dates se recouvrent) est de peu d'intérêt pour la chronologie de la tombe. En revanche, du point de vue de la géochimie, cet écart est peut-être un exemple de la contribution du carbonate des sols à l'édification de la coquille des gastéropodes terrestres (*cf. supra* Méthode de datation).

FIGURE 30.1 : pointes d'Ounan de TMY N1

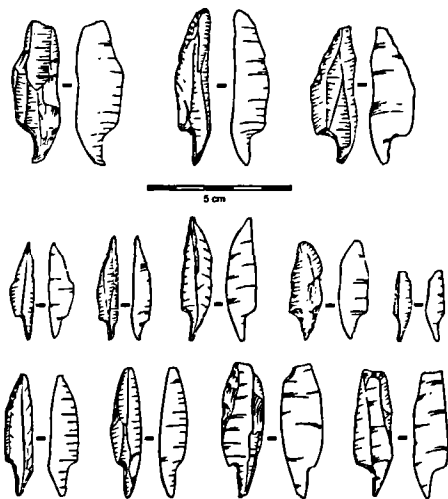


FIGURE 30.2 : plan des monuments funéraires de TMY N1

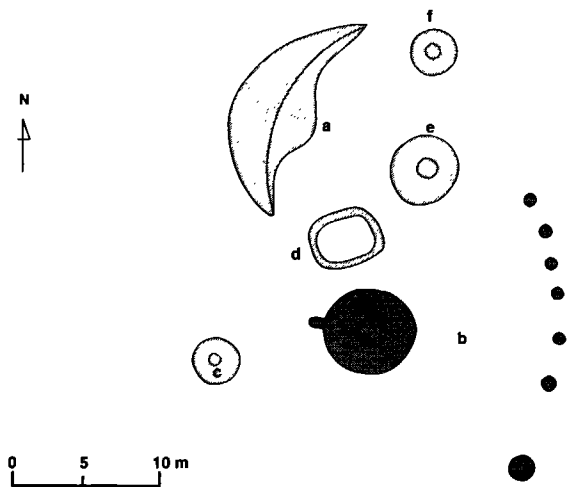
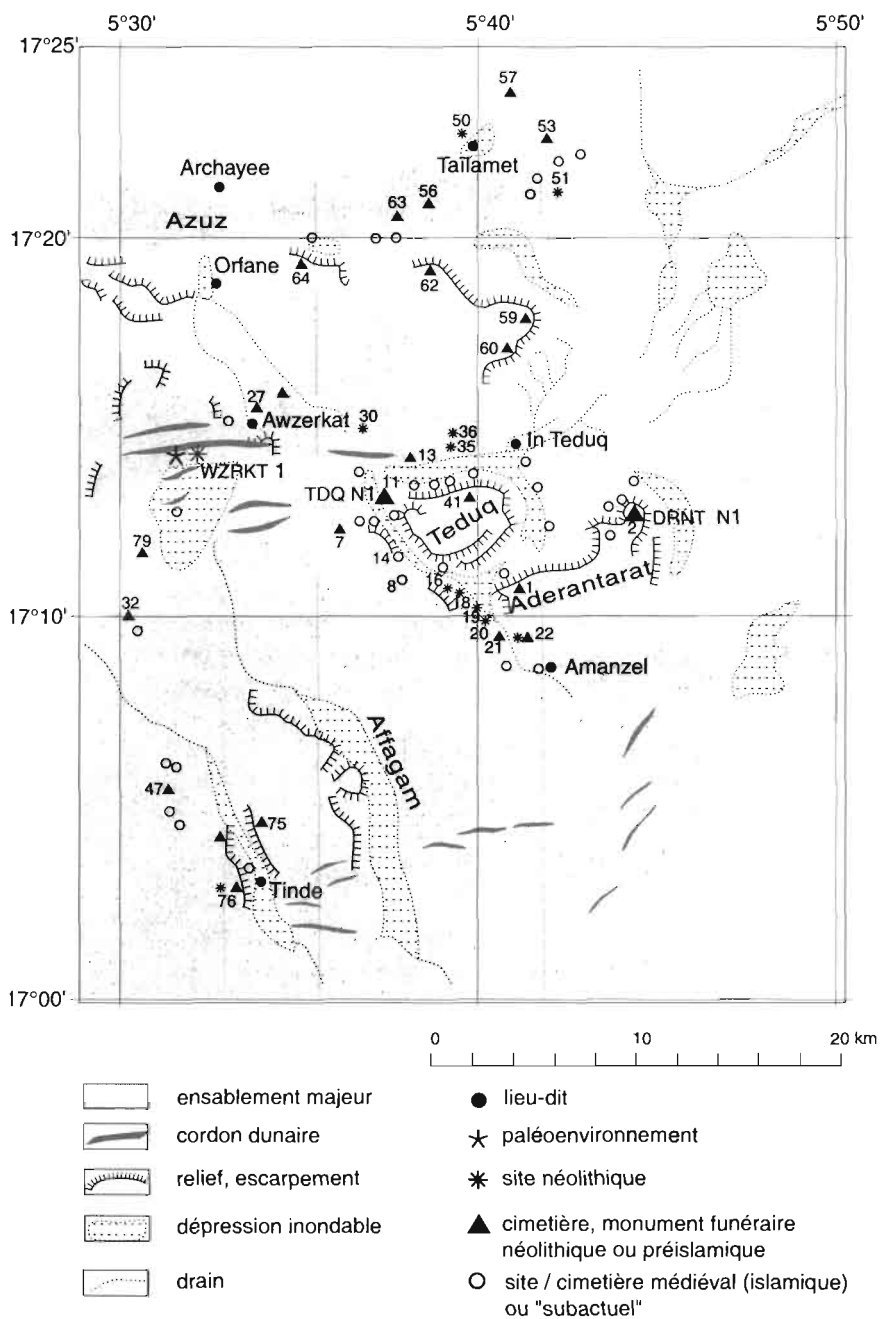


FIGURE 31 : localisation des sites de la région d'In Teduq

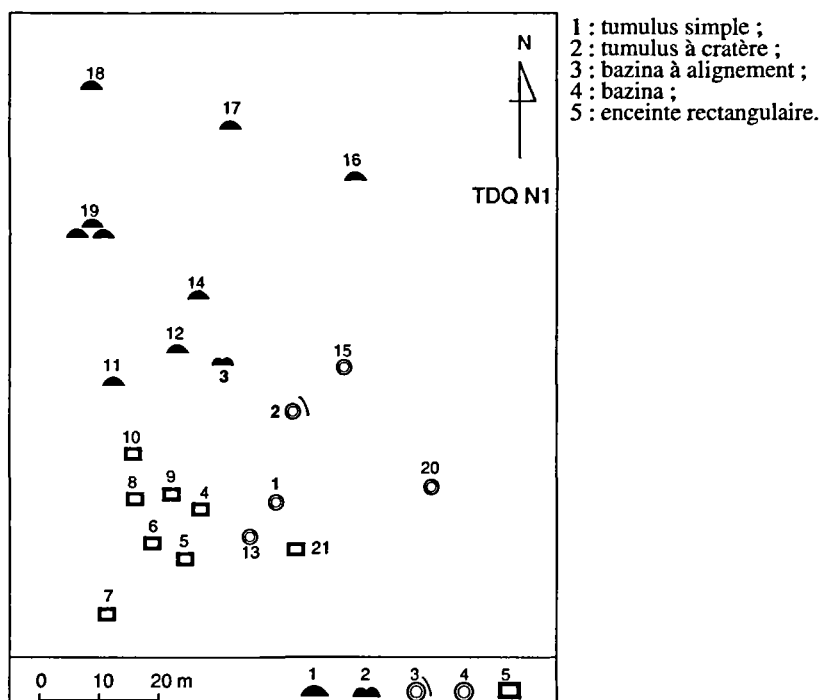


La région d'In Teduq à Taferjit

In Teduq est actuellement un lieu de pèlerinage important où sont enterrés de saints personnages (fig. 31). In Teduq est peut-être aussi le site d'une ville médiévale fondée au ^{XIV}^e siècle et détruite au ^{XVII}^e (cf. *infra*, P. Cressier et E. Bernus). Yveline Poncet a effectué, avec l'aide des habitants actuels de la région, un inventaire des indices de fréquentation humaine visibles dans un rayon d'environ 20 km à partir du cimetière d'In Teduq. Nous donnons la liste de ces sites en annexe, suivant la numérotation provisoire adoptée. Sur les quatre-vingts endroits localisés par Y. Poncet, soixante-trois concernent la région d'In Teduq. Nous les avons sommairement classés en sites néolithiques, post-néolithiques et médiévaux à sub-actuels. La subdivision entre médiéval et sub-actuel n'étant pas aisée à déterminer, nous ne nous y sommes pas risqués, laissant ce soin aux spécialistes des périodes récentes.

Nous n'avons pas trouvé de sites pour les périodes anciennes. Les sites néolithiques et post-néolithiques représentent trente et une références dans l'inventaire d'Y. Poncet. Les gisements néolithiques sont au nombre de quinze, dont quatorze habitats et un ensemble de monuments funéraires. Par le matériel céramique comme l'industrie lithique, ces sites appartiennent aux phases récentes et tardives du Néolithique. Presque tous les habitats néolithiques sont implantés sur les dunes rouges, à l'exception des sites d'Awzerkat et de Tailamet. Comme à Tasa Takorat, ces gisements sont très pollués par les occupations ultérieures et les traces de campements récents sont partout visibles. Nous n'avons pas effectué de collectes sur ce type d'installation, qui demanderait une approche particulière. Les sites post-néolithiques sont essentiellement représentés par les tumulus (trois habitats probables pour dix-sept références). Ces monuments funéraires particulièrement nombreux signifient très certainement que le caractère « sacré » de cette région remonte bien au-delà du ^{XIV}^e siècle, date de la fondation de la ville médiévale. Cela veut aussi probablement dire que cette vallée est restée hospitalière longtemps après l'installation de conditions climatique arides. Nous avons fouillé des tombes sur deux de ces cimetières.

FIGURE 32 : plan du cimetière d'In Teduq (TDQN1)



TDQ N1 (17°14'N ; 05°38'E). Ce petit cimetière de 22 monuments est implanté à l'extrémité orientale de la dépression d'In Teduq (fig. 31). On y dénombre (fig. 32) 5 bazinas, dont une avec alignement, huit enceintes rectangulaires (photo 21, hors-texte ; cf. TMY N1 et AZWK N2), 9 tumulus à cratère. Nous avons fouillé 3 monuments (Paris, 1996), une bazina simple (TDQ N1.1, $\delta^{13}\text{C}$: -13.2 ‰ ; Pa 299 : 3485 ± 165 BP ; âge calibré : 2020-1603 BC, 1 σ), une bazina à alignement (TDQ N1.2, $\delta^{13}\text{C}$: -4.65 ‰ ; Pa 1418 : 1890 ± 40 BP ; âge calibré : 79-201 AD, 1 σ) et un tumulus à cratère (TDQ N1.3, $\delta^{13}\text{C}$: -23.4 ‰ ; Pa 231 : 2810 ± 80 BP ; âge calibré : 1034-843 BC, 1 σ).

La bazina n°1 contient les restes calcinés d'au moins deux individus (Paris, 1996). Les cas d'incinérations sont rares, nous n'en avons rencontré qu'un autre cas, plus ancien puisque daté de 5320 ± 200 BP (Pa 200), dans l'Adrar Bous au Nord-Est de l'Aïr (sépulture AB N2.2 ; Paris, 1996).

La bazina à alignement n°2 (fig. 33 et photo 22, hors-texte) se distingue des monuments de ce type par la construction de deux caissons rectangulaires en pierre (1,20m x 0,50m) disposés comme de courtes antennes dans la partie orientale du corps de la bazina. C'est le seul cas que nous connaissons. La présence de douilles de fer confirme l'âge récent donné par le ^{14}C .

Nature des matériaux choisis pour la datation :

| <i>Tombe</i> | <i>Type</i> | <i>Matériau</i> | <i>Âge BP</i> | <i>$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$</i> |
|--------------|-------------------|--------------------------------|----------------|--|
| (TDQ N1.1) | bazina simple | os brûlé (matière organique) | 3845 ± 165 | -13.2 |
| (TDQ N1.2) | bazina alignement | os (carbonate-hydroxylapatite) | 1890 ± 40 | -4.65 |
| (TDQ N1.3) | tumulus à cratère | charbon de bois | 2810 ± 80 | -23.4 |

L'âge ^{14}C du tumulus à cratère n°3 est cohérent avec ce que l'on sait de ce type de monument, qui apparaît dans l'Est de l'Aïr vers 3500 BP mais reste en usage jusqu'à l'arrivée de l'Islam et même un peu après.

Nous n'avons malheureusement pas pu fouiller de sépulture rectangulaire. Selon les résultats obtenus par Grébénart (1984), ce type de construction est d'époque récente puisque daté de 730 ± 90 BP soit 1225-1295 AD (Gif 4237) à Shimumenin, dans la région d'In Gall. Pourtant, les fouilles menées tant à Shimumenin qu'à Mammanet (Paris, 1996) montrent que les corps ne sont pas inhumés dans la position du rituel islamique.

L'occupation de la vallée d'In Teduq, du moins exprimée par les modes d'inhumation sous monuments funéraires, se fait donc sans hiatus véritable, depuis 4000 ans au moins.

DRNT N1 ($17^{\circ}13'\text{N}$; $05^{\circ}44'\text{E}$). Le plateau d'Aderantarat (fig. 31) est entièrement recouvert de monuments de types divers. Les plus nombreux sont les tumulus à cratère, mais l'on remarque aussi 4 tumulus en croissant, construits dans le même secteur, au Nord-Est du plateau, une plate-forme gravillonnée comparable à celles vues dans le Nord-Est de l'Aïr, et quelques bazinas. Nous avons fouillé 2 tumulus en croissant (Paris, 1996, DRNT 1 ET 2) mais qui n'ont pu être datés (fig. 34 et photo 23, hors-texte).

FIGURE 33 : Bazina à alignement à In Teduq (TDQ N1)

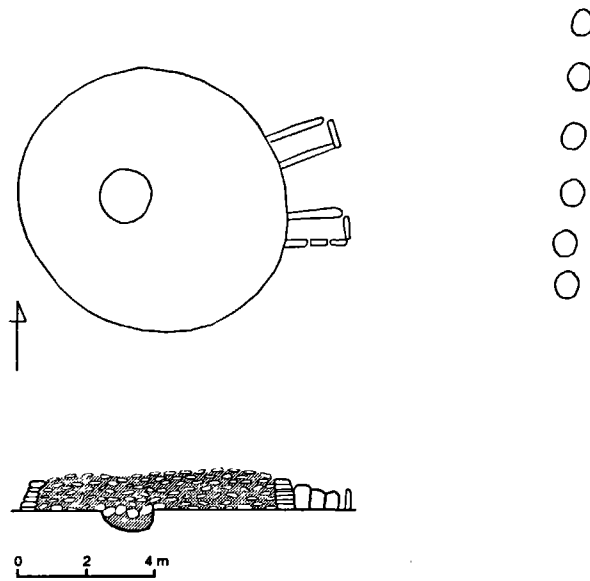
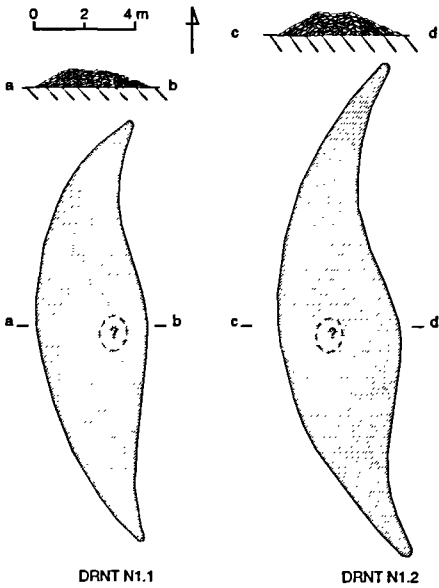


FIGURE 34 : Plans de tumulus en croissant fouillés dans la région d'Aderantarat



WZRKT 1 (17°14'N ; 5°32'E). Ce gisement néolithique assez étendu (~300 x 200m), situé au Sud du puits d'Awzerkat (fig. 31), est implanté sur le bord d'une dépression lacustre, sur des limons carbonatés à patine noire (cf. TMY 4). Le matériel lithique est relativement pauvre en façonnage où grattoirs et armatures sont les pièces les plus significatives. La poterie se caractérise par des tessons plutôt épais avec une pâte à dégraissant mixte (végétal et quartz), les décors obtenus par impression au peigne sont simples et évoquent le Néolithique récent. Les restes de faune sont abondants, les ossements sont parfois fortement minéralisés, ce qui indiquerait peut-être deux périodes. On remarque en particulier de l'éléphant, de grandes antilopes et de l'hippopotame.

Prélèvement de matériel lithique, céramique et faune. Le gisement a été daté indirectement sur des coquilles de mollusques d'eau douce de 4585 ± 120 BP (Pa 363), ce qui correspond aux observations que nous avons faites sur les décors de poterie.

TSR 1 (16°48'N ; 5°40'E). Il s'agit d'une dépression à fond argileux et dépôt diatomitique, située un kilomètre au Nord de Tasara (fig. 2), sur les bords de laquelle nous observons des restes de poissons et de mollusques (*Unio* et *Caelatura*). Nous n'avons pas pu étendre notre prospection à cause d'un fort vent de sable. Les coquilles de *Caelatura* ont été datées de 4150 ± 80 BP (Pa 168), ce qui attribue donc ce lac à la fin du Néolithique récent.

GWN (16°30'N ; 5°46'E). Situé non loin de Taferjit (fig. 2), le gisement de Gawane, nom du puits le plus proche, s'étend sur la berge d'un ancien lit de rivière. Relativement important, il mesure environ 350 x 100 m. Les restes de mollusques forment de véritables dépôts coquilliers. L'industrie lithique est constituée d'éclats retouchés en couteaux et grattoirs, de quelques armatures et un peu de matériel poli. La céramique, avec pâte à dégraissant végétal, se rattache par ses décors au Néolithique récent.

Les dépôts coquilliers ont été datés, grâce aux restes de *Caelatura*, de 4100 ± 70 BP (Pa 367). Cet âge, comparable à celui de Taferjit (4080 ± 110 BP) est en accord avec les vestiges (industrie lithique et matériel céramique) que nous avons observés sur le site.

Ces trois sites montrent que dans cette région les conditions d'humidité suffisante pour l'établissement de petites cuvettes lacustres n'ont pas dépassé 4000 BP, ce qui est différent de ce que l'on a pu observer plus à l'Est, et même plus au Nord, dans l'Ighazer, où nous avons une occupation néolithique finale, avec une faune lacustre attestée entre 3800 et 3500 BP (Paris, 1996).

Discussion et conclusion

Chronologie et paléoenvironnements

Nous pouvons maintenant préciser sur plusieurs points nos résultats préliminaires concernant le Quaternaire supérieur (*cf. supra* Cadre de l'étude), par contre nous avons peu progressé dans la connaissance des périodes plus anciennes.

Plio-Quaternaire

Les données sur le Plio-Quaternaire restent peu nombreuses et leur chronologie très imprécise. De plus, certaines interprétations comportent encore une grande part d'hypothèses et nécessiteraient de pouvoir être confirmées par de nouvelles observations sur le terrain. C'est le cas, notamment, de l'attribution au Pliocène supérieur de la terrasse à nénu-phars de Mentès. C'est également le cas des modifications hydrographiques majeures découlant de l'origine fluviatile ancienne des vallées de Tamaya Mellet et Takene Bawat. Dans l'état actuel des connaissances, nous retiendrons donc seulement que l'histoire plio-quaternaire de cette région a été dominée par l'érosion et une aridification croissante dont témoignent les glacis anciens successifs et l'accumulation des sables éoliens. L'apparition des premiers sables éoliens reste difficile à préciser ici comme partout ailleurs en Afrique, les accumulations visibles actuellement n'étant que le résultat des derniers épisodes d'une longue série de remaniements (Durand, 1995).

L'erg ancien

Ainsi, l'essentiel du matériel sableux relève bien d'un erg ancien qui a été daté comme antérieur à 22,000 BP environ. Bien qu'une seule datation ait pu être réalisée, elle est conforme à l'hypothèse qui avait été émise compte tenu du contexte régional (*cf. supra* Cadre de l'étude). Comme nous le supposons également, cet erg ancien a été constitué en plusieurs épisodes ainsi que le montrent les deux phases d'accumulation nettement séparées par un épisode de ruissellement à Lekdarat (Morel, 1985b).

En fait, ces accumulations sableuses traduisent une situation climatique plus favorable que l'actuelle. En effet, en Afrique nord-équatoriale, les actions éoliennes se répartissent selon un gradient géographique et climatique. La zone saharienne, la plus aride, est surtout affectée par l'érosion éolienne. L'accumulation de sable par le vent est maximale plus au Sud, sur le Nord du Sahel, en raison de l'augmentation de la rugosité du substrat liée au couvert végétal (Durand, 1995). Dans un contexte aride où seule une dynamique éolienne est enregistrée, la distinction entre érosion et accumulation peut donc servir d'indicateur climatique. Ainsi, les accumulations sableuses de l'erg ancien ont été remodelées par l'érosion éolienne lors de périodes plus arides. L'érosion a dégagé de longs couloirs (parfois plus de 10 km) allongés dans le sens du vent dominant, ce qui a abouti à la morphologie actuelle de type « sandridges ».

Le Kanémien

Connue sous l'appellation régionale de Kanémien, la période qui a suivi le dernier maximum glaciaire est souvent qualifiée d'hyperaride (Servant, 1973). Cette période a effectivement été marquée ici par l'érosion éolienne. Les zones basses de l'erg ancien, les plus indurées, ont le mieux résisté à l'érosion et sont maintenant en relief inversé. Ce sont donc des volumes de sable très importants qui ont été remobilisés à cette époque. La remobilisation se traduisant rapidement par la perte de la pellicule responsable de la couleur rouge, on peut considérer que les sables clairs (gris, beiges et blancs) mis en place à l'Holocène (*cf. infra*) proviennent en grande partie des stocks anciens remobilisés au Kanémien. Néanmoins, compte tenu de leur différence d'altitude avec les zones basses de l'erg ancien, on doit admettre que la plus grande partie des sables remaniés au Kanémien a été enlevée par l'érosion. Une telle érosion avait déjà été notée au Nord-Ouest, vers 19 à 21°30 N au Mali (Riser *et al.*, 1983). De même, l'absence d'accumulations dunaires au

Kanémien avait été notée au Nord-Est, vers 19 à 20°N sur les piémonts orientaux de l'Aïr (Durand *et al.*, 1983). Les conditions climatiques sont beaucoup plus favorables pendant la majeure partie de l'Holocène.

L'Holocène

D'une manière générale, les nombreuses données nouvelles ne remettent pas en cause le cadre chronologique défini antérieurement dans l'Azawagh (Durand et Paris, 1986 ; *cf. supra* Cadre de l'étude) et dans les régions les plus proches du Sahara malien (Petit-Maire et Riser, 1981 ; Riser *et al.*, 1983). Par contre, sur plusieurs points elles apportent un éclairage nouveau qui amène à apprécier différemment l'évolution climatique et environnementale, et donc le cadre de vie des populations préhistoriques.

Ainsi, deux grandes périodes humides marquées par des hauts niveaux lacustres (9600-6900 BP et 5400-4000 BP) ont été décrites au Mali entre 19° et 21°N environ (Riser *et al.*, 1983). Pendant une première période de diminution de l'humidité (6900-5400 BP) les auteurs notent une reprise de la dynamique éolienne, marquée principalement par de l'érosion, mais aussi par l'accumulation de nouvelles dunes entre 6000 et 5500 BP environ. La seconde phase de diminution de l'humidité, après 4000 BP, qui voit l'installation du climat aride actuel, est marquée également par la dynamique éolienne avec de l'érosion et des accumulations nouvelles. Les auteurs remarquent ainsi que les ergs, souvent considérés comme des formes stables, ont pu se former et se remodeler à deux ou trois reprises depuis 10,000 ans.

L'étude de la région de Taoudenni, plus au Nord du Mali (22-23°N), a permis de préciser ces premiers résultats. Des environnements humides y sont enregistrés également avant 9000 BP, mais le premier épisode à hauts niveaux lacustres est restreint entre 8200 et 6700 BP environ (Aucour, 1988 ; Øxnevad, 1991). Un second épisode humide entre 6700 et 3900 BP environ, qui voit alterner dépôts lacustres, palustres et évaporitiques, connaît des conditions climatiques globalement moins favorables que le premier. Ceci n'implique pas forcément une diminution drastique de la pluviosité immédiatement après 6700 BP, car de hauts niveaux lacustres sont encore observés, mais plutôt des changements du rapport entre la pluviosité et l'évaporation : P/E (Fabre et Petit-Maire, 1988). Par ailleurs, l'observation détaillée des dépôts en position stratigraphique sur de nombreuses coupes, a permis de mettre en évidence au sein de chacun de ces deux grands épisodes climatiques, de nombreuses oscillations secon-

daïres. Ainsi, une coupe montre deux séquences transgression-régression entre 8800 et 8300 BP environ (soit 250 ans par séquence) et quatre séquences entre 8300 et 6700 BP (soit 400 ans par séquence) ; une autre coupe montre 8 à 9 séquences entre 6700 et 3900 BP (soit 360-300 ans par séquence) ; enfin, une autre coupe montre des séquences de 250-200 ans entre 6500 et 4700 BP (Fabre et Petit-Maire, 1988).

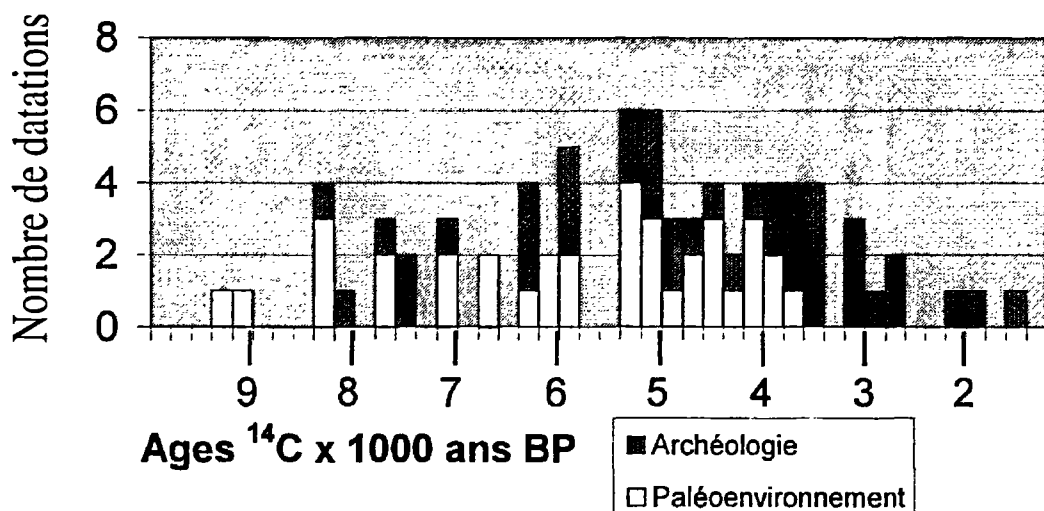


Figure 35 : répartition des datations. Diagramme cumulé des datations relatives à un environnement humide, d'une part, et à l'occupation humaine, d'autre part, dans la région de l'Azawagh.

Dans l'Azawagh, nous avons également des indications isolées d'environnement humide avant 9000 BP (grande faune de Tamaya Mellet à 9350 ± 170 BP ; lac de Tarada à 9025 ± 150 BP). Mais le premier grand épisode humide commence vers 8300 BP seulement (niveau intermédiaire du grand lac de Mentès à 8320 ± 240 BP ; nombreux petits lacs de Tin Kotkon à 8300 ± 200 BP ; grésifications liées à la nappe phréatique de Takene Bawat à 8345 ± 45 BP ; grande faune d'In Tekebrin à 8120 ± 250 BP). L'Homme était déjà présent car les charbons d'un foyer de Tamaya Mellet ont été datés à 8230 ± 300 BP, dans un contexte lithique caractérisé par le grand nombre de pointes d'Ounan.

Entre 8300 et 4000 à 3500 BP environ, comme les régions proches du Mali, l'Azawagh est incontestablement plus humide qu'actuellement. Mais, comme au Mali également, cette période comprend en fait un grand nombre de séquences d'une durée de quelques siècles seulement. Il s'agit d'observations ponctuelles, et le plus souvent en surface, qui permettent difficilement d'établir les limites stratigraphiques des différentes séquences. Néanmoins, tant les différents niveaux coquilliers du grand lac de Mentès, que les différents dépôts palustres et lacustres interduinaires isolés de Takene Bawat ou de In Tekebrin, par exemple, attestent de manière évidente d'un grand nombre d'oscillations climatiques.

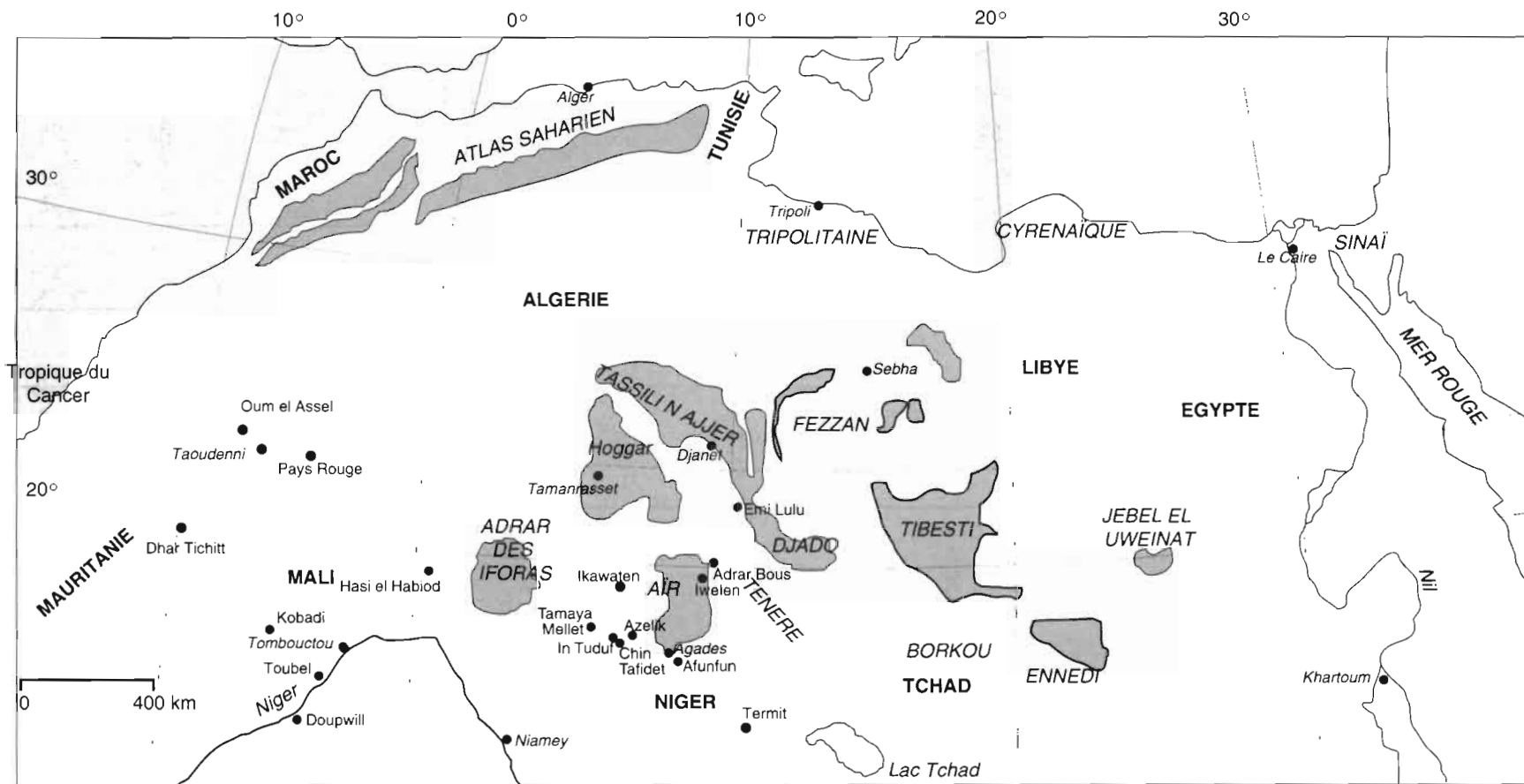
En ce qui concerne l'enregistrement des phases arides, la région de Takene Bawat est particulièrement significative. Comme au Mali, on observe un épisode d'érosion et d'accumulation éolienne entre 6000 et 5500 BP, daté ici entre 5800 et 5400 BP. Mais on observe aussi au moins un autre épisode éolien, et plus probablement plusieurs autres, entre 8300 et 6400 BP comme à Takene Bawat (fig. 25). C'est, à notre avis, l'un des résultats nouveaux les plus intéressants de cette étude, qui confirme et généralise les observations faites au Mali : même pendant le « grand humide » de l'Holocène inférieur, ont existé des phases arides de quelques siècles, d'une intensité suffisante pour provoquer de l'érosion et de l'accumulation éolienne. Il est possible que ces périodes correspondent à des absences de peuplement. En effet, on peut remarquer que les datations en rapport avec une présence humaine à l'Holocène inférieur et moyen sont généralement dans des intervalles de temps pour lesquels des datations de paléoenvironnement humide existent aussi. Ainsi, la poterie de In Tekebrin datée de 7705 ± 120 BP peut être considérée comme contemporaine des coquilles du haut niveau de Mentès datées de 7725 ± 80 BP ou des coquilles du marécage de Takene Bawat datées de 7775 ± 110 BP. De même, le squelette humain de In Tekebrin, daté de 7175 ± 250 BP, est dans le même intervalle chronologique que le niveau coquillier de Mentès daté à 7160 ± 80 BP ou le sol humide de Tamaya Mellet daté à 7070 ± 120 BP. Il est donc possible que les épisodes éoliens correspondent à des périodes pour lesquelles n'existent aucun élément daté tant d'environnement humide que de présence humaine ; par exemple entre 8100 et 7800 BP, entre 7400 et 7200 BP, entre 7000 et 6800 BP ou encore entre 6700 et 6400 BP (fig. 35 et tableaux de datations en annexe). Dans cette hypothèse, il faudrait envisager des déplacements des populations vers d'autres zones plus favorables.

Enfin, pour les périodes plus récentes, même si l'aridification générale débute vers 7000 à 6500 BP, il faut tenir compte de son extension progressive vers le Sud (Petit-Maire et Kröpelin, 1991 ; Durand, 1995). Ainsi, le haut niveau du lac d'Ine Kousamene (20°45'N au Mali) vers 5400-5200 BP (Riser *et al.*, 1983) a son équivalent à Mentès. En fait, on peut remarquer que les dernières indications d'un environnement humide sont les coquilles de *Melanoïdes* de Tarada datées de 3950 ± 120 BP, les coquilles de *Caelatura* de Tin Kotkon datées de 3970 ± 80 BP, et enfin les coquilles de *Pulmonés* de Tamaya Mellet à 3600 ± 60 BP. Par contre, entre 3900 et 1600 BP environ, 18 datations en rapport avec une présence humaine (ossements humains, poteries et charbons) indiquent l'adaptation des populations à un environnement aride (fig. 35).

Le dégraissant végétal : marqueur de l'environnement et des technologies des céramiques

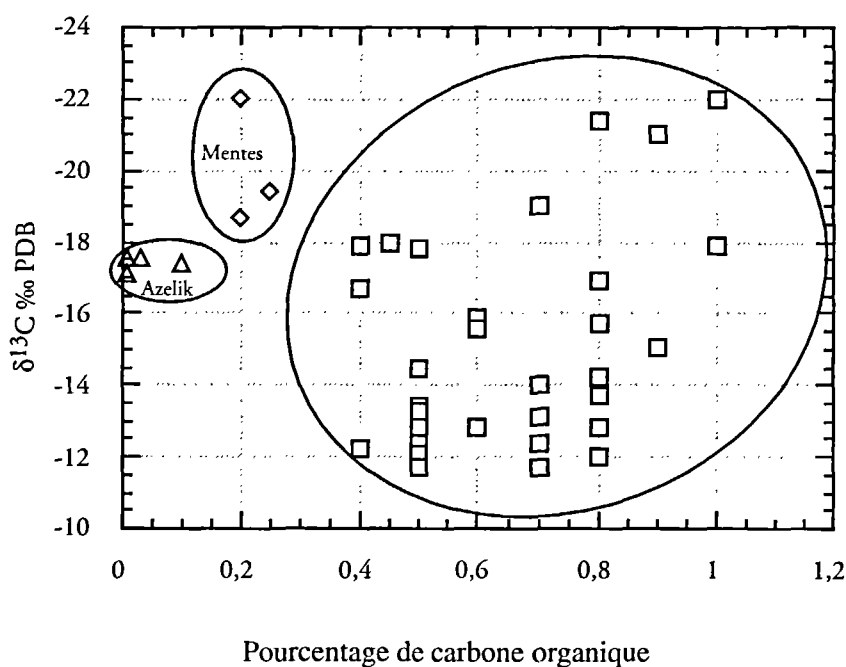
Nous avons comparé nos données (tab. 4) à celles déjà obtenues à Azelik au Niger (Saliège et Person, 1991a), dans le Delta intérieur du Niger au Mali (Saliège et Person, 1991b), dans la région de Tichitt en Mauritanie (Person *et al.*, 1996b), au Sahara malien (Commelin *et al.*, 1993), dans le massif de Termit (Quéchon, 1995) et dans le massif de l'Aïr (Roset, 1987 et 1995) (fig.36). La synthèse de l'ensemble de ces analyses est résumée sur les figures 37 et 38.

FIGURE 36 : carte de localisation des sites où le dégraissant végétal des poteries a été étudié ➤



Relations entre teneur en carbone et $\delta^{13}\text{C}$

FIGURE 37 : classement des céramiques en fonction de leur teneur en carbone et $\delta^{13}\text{C}$: mise en évidence des poteries à dégraissant minéral à Mentès et Azelik



Nous avons comparé les poteries à dégraissant minéral de Mentès et d'Azelik à l'ensemble des poteries à dégraissant végétal de toute la bande sahélienne (fig. 37). Cette confrontation indique clairement la chute d'un facteur de deux à cinq de la teneur en carbone des poteries à dégraissant minéral par rapport à celles à dégraissant végétal. Comme nous avons vu par ailleurs (tab. 2 : cf. *supra* Méthode de datation) que la teneur en carbone de l'argile naturelle devait être comprise entre 0.3 et 0.8 %, nous en déduisons qu'environ les deux-tiers du carbone sont brûlés lors de la cuisson. *A contrario* cela démontre que les teneurs en carbone après cuisson des poteries à dégraissant végétal sont totalement incompatibles avec celles de l'argile naturelle. Par contre, le signal isotopique est conservé, la combustion partielle n'entraînant pas de fractionnement isotopique. La matière organique de la pâte argileuse enregistre les fluctuations du couvert végétal. A Azelik, les $\delta^{13}\text{C}$ des tessons (âge moyen de 500 BP) sont homogènes (-17‰ environ), ils sont identiques à

ceux des berges des points d'eau actuels. Par contre, à Mentès les $\delta^{13}\text{C}$ sont eux aussi homogènes, mais ils sont plus négatifs (-19 à -22 ‰ environ). C'est l'indice d'un climat plus favorable à l'épanouissement d'une végétation plus riche en espèces végétales et compatible avec l'âge moyen des tessons (4400 BP) qui les situe à la fin du dernier grand humide holocène. Nous avons ainsi défini à Mentès, uniquement à partir de données géochimiques, un groupe de poteries parfaitement identifiable.

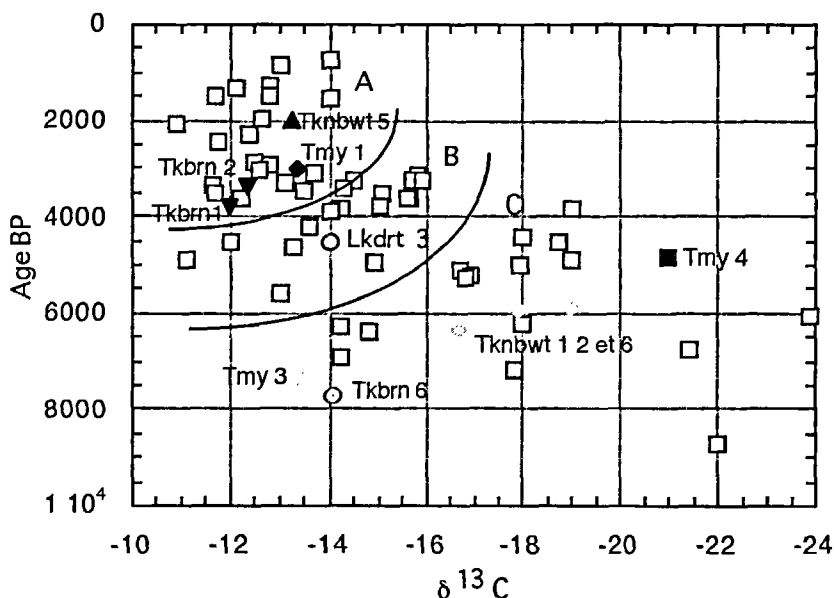
Si nous analysons la relation entre $\delta^{13}\text{C}$ et teneur en carbone des poteries à dégraissant végétal, nous constatons un désordre apparemment inextricable (fig. 37), les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ recouvrant la plupart des proportions envisageables entre plantes en C4 et plantes en C3. On doit cependant souligner que si le dégraissant végétal de nombreux tessons est composé presque uniquement de plantes en C4, nous n'avons presque jamais (3 sur 70 sites) trouvé de dégraissant composé uniquement de plantes en C3. Ceci peut s'expliquer par les contraintes techniques du potier. Celui-ci ne peut utiliser que de petits végétaux rigides, de diamètre millimétrique et facilement divisibles ce qui exclut la plupart des plantes supérieures mais rend inévitable, sous ces latitudes, une certaine proportion de plantes en C4.

| $\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$ | classe | groupe défini dans le texte | site | Âge BP | N° labo. |
|---------------------------------|--------|--------------------------------|----------|------------|----------|
| -13.25 | O/C*/O | A | TKNBWT 5 | 2010 ± 200 | Pa 444 |
| -13.4 | O/C*/O | A | TMY 1 | 3060 ± 140 | Pa 411 |
| -12.3 | O/C*/O | A | TKBRN 2 | 3400 ± 120 | Pa 757 |
| -12.0 | O/C*/O | A | TKBRN 1 | 3825 ± 100 | Pa 507 |
| -14.0 | O/C*/O | B | LKDRT 3 | 4235 ± 150 | Pa 659 |
| -21.0 | O/C*/C | B | TMY 4 | 4825 ± 150 | Pa 685 |
| -19.0 | O/C*/C | C | TKNBWT 6 | 5880 ± 120 | Pa 454 |
| -16.7 | O/C*/C | C | TKNBWT 2 | 5945 ± 300 | Pa 301 |
| -16.25 | O/C*/C | C | TKNBWT 1 | 6300 ± 200 | Pa 517 |
| -16.7 | O/C*/C | C | TKNBWT 2 | 6410 ± 120 | Pa 1599 |
| -13.5 | C/C*/C | C | TMY 3 | 7415 ± 150 | Pa 1574 |
| -13.6 | C/C*/C | C | TMY 3 | 7550 ± 150 | Pa 1571 |
| -14.05 | C/C*/C | C | TKBRN 6 | 7705 ± 120 | Pa 1580 |

Relations entre $\delta^{13}\text{C}$ et chronologie

Sur la figure 38 nous avons ordonné les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du dégraissant végétal des poteries en fonction de leur âge. Nous avons pu ainsi établir un classement en trois grands groupes sans tenir compte de leur origine géographique.

FIGURE 38 : relation $\delta^{13}\text{C}$ vs âge ^{14}C des poteries.



Le premier groupe (A) est composé des poteries comprises entre l'actuel et 3400-3800 BP. Il est remarquable par l'homogénéité des teneurs en ^{13}C . Pour une vingtaine de sites étudiés (Delta intérieur du Niger, Tichitt, Termit, Azawagh) nous trouvons une valeur moyenne de $\delta^{13}\text{C}$ de -12.7‰ pour un écart-type σ de ± 0.82 (maximum : -10.7‰ et minimum : -14‰). Cette valeur est à comparer, à celle des graminées sauvages ou domestiquées (-12.5‰ $\sigma = \pm 1.5$). On constate que la dispersion de l'ensemble des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des poteries n'est pas supérieure à la dispersion naturelle des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des espèces végétales. Nous voyons ainsi qu'il est inutile de chercher à différencier ces sites sur ce critère. La quasi totalité de ces poteries appartient à la classe O/C*/O (cf. Méthode de datation). Les tessons de Tamaya Mellet 1 et d'In Tekebrin 1 et 2 (tab. 4) appartiennent à ce groupe. L'homogénéité des teneurs en ^{13}C des dégraissants coïncide avec l'installation progressive

des conditions climatiques globalement plus sèches sur toute la bande sahélienne depuis 4000 BP environ. Cependant la fabrication des poteries imposant des contraintes techniques : besoin en matière première, en eau pour travailler la pâte et en combustible, il est fort probable que les ateliers étaient situés, comme à l'heure actuelle, à proximité de points d'eau si modestes fussent-ils. Dans ces conditions, si le potier utilisait sans discernement les végétaux de son environnement immédiat, les teneurs en ^{13}C des poteries devraient être plus faibles et surtout plus dispersées, la proportion de plantes en C3 n'étant pas négligeable puisque la majorité des plantes hygrophiles est en C3. Il faut donc admettre que le potier choisissait son dégraissant en liaison avec d'autres activités villageoises dont une, probablement la plus importante, liée à l'alimentation. Les isotopes du carbone ne permettant pas différencier les plantes sauvages des plantes sélectionnées pour l'agriculture, nous ne poursuivrons pas plus avant notre raisonnement. On doit cependant signaler que Amblard et Pernes (1989) ont pu retrouver des empreintes de graines de mil domestique (*Pennisetum americanum*) dans des tessons provenant d'un site du Dhar Oualata en Mauritanie. Amblard-Pison (1996) décrit aussi des témoignages de pratiques agricoles dans le Dhar de Tichitt.

Pour les poteries d'âges supérieurs à 3400-3800 BP, la relation $\delta^{13}\text{C}$ vs âge BP se complique, la dispersion des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ devenant importante. Les poteries comprises entre 3400-3800 et 4900 BP, que nous définissons comme le groupe B, ont une valeur moyenne de $\delta^{13}\text{C}$ de -14.1 ‰ pour un écart-type σ de ± 1.43 , (maximum : -11.1 ‰ et minimum : -15.8 ‰) pour une quinzaine de sites étudiés. Comment expliquer cette augmentation de la dispersion des teneurs en ^{13}C ? On peut éluder la question en considérant qu'avant 3400-3800 BP le travail du potier n'était soumis à aucune règle stricte, le choix des végétaux se faisant selon les opportunités du moment. C'est l'hypothèse la moins plausible, la confection d'une céramique, quelle que soit la technique mise en œuvre, a toujours exigé un travail précis bien codifié. Dans ce groupe B on retrouve essentiellement des poteries de la région de Chin Tafidet (-14.0 ‰ ; 3700-3900 BP) et d'In Tuduf (-14.0 ‰ ; 3600-4200 BP). Chronologiquement, les conditions climatiques ne sont pas encore trop défavorables. Chin Tafidet et In Tuduf sont situés en bordures d'étendues d'eau importantes comme le prouve la faune retrouvée parmi les restes alimentaires (poissons divers et de grande taille, crocodiles, tortues). Le potier devait s'approvisionner en bordure de mare ce qui explique des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus dispersées, mais la prépondérance des graminées est encore bien marquée. Pour ce groupe B, on doit considérer chaque site isolément. Certains présentent les mêmes caractéristiques géochimiques

et la même classe O/C*/O que les sites du groupe A : Ikawaten (-13.3‰ ; 4635 BP), le Pays Rouge (-12.0 ‰ ; 4525 BP) et Oum el Assel (-11.1‰ ; 4890 BP), ces deux derniers sites étant situés dans le Sahara malien (Commelin *et al.*, 1993). En conclusion, sous l'apparent désordre des teneurs en ^{13}C , peut-être dû à des changements technologiques sur certains sites, l'apparition des premières poteries du groupe A, difficile à préciser, pourrait être repoussée jusqu'à 5000 BP.

Le groupe C comporte une vingtaine de sites ; la dispersion des $\delta^{13}\text{C}$ y est telle qu'une valeur moyenne perd tout sens (maximum : -13 ‰ et minimum : -23.9 ‰). A l'exception notable du site d'Afunfun, daté de 3800-4000 BP ($\delta^{13}\text{C} = -19$ ‰) et de classe C/C*/C, c'est parmi les poteries les plus anciennes, antérieures à 5000 BP, que l'on trouve les teneurs en ^{13}C les plus faibles. Elles s'accompagnent d'un mode de cuisson différent : classes O/C*/C et C/C*/C. Les poteries des sites de Takene Bawat 2 et 6 ont une valeur moyenne de $\delta^{13}\text{C}$ de -17.9 ‰ (tab. 4). Ces valeurs très basses se retrouvent à Termit (-23.9‰ ; 6085 BP de classe O/C*/C ; -17.3 ‰ ; 7160 BP de classe C/C*/C). L'influence des plantes en C3 est de plus en plus marquée (fig. 38), à l'exception des poteries de Tamaya Mellet 3 et d'In Tekebrine 6 de classe C/C*/C (tab. 4) dont le dégraissant végétal a laissé des empreintes caractéristiques, que nous attribuons d'après leur morphologie à des plantes hygrophiles de la famille des plantes en C4.

En conclusion, ce classement géochimique est-il exploitable pour l'archéologue? Il ne faut pas rechercher une confrontation avec les typologies basées sur les formes et les décors. L'information apportée par le ^{13}C est différente, plus globale, liée aux grandes fluctuations climatiques de l'Holocène. Le dégraissant végétal est à la fois source d'information sur l'environnement et sur les choix technologiques de l'artisan. L'homme compose et s'adapte, il déforme le signal isotopique naturel et l'amplifie par ses contraintes techniques mais également par les choix liés au mode de vie de la société dans laquelle il évolue. Le contraste très marqué entre les teneurs en ^{13}C très homogènes lorsque le climat aride s'installe et la complexité de celles-ci pour les tessons des périodes de la fin du premier grand humide et du second en sont la preuve. En dehors de cet intérêt à grande échelle de temps, on doit souligner que dans quelques cas très précis, et nous pensons en particulier aux poteries de Tamaya-Mellet 3, d'In Tekebrine 6, de même qu'à celles d'Afunfun, ce classement géochimique peut se révéler cependant un outil typologique, au sens archéologique, d'une grande efficacité.

Le carbonate-hydroxylapatite : un marqueur du régime alimentaire

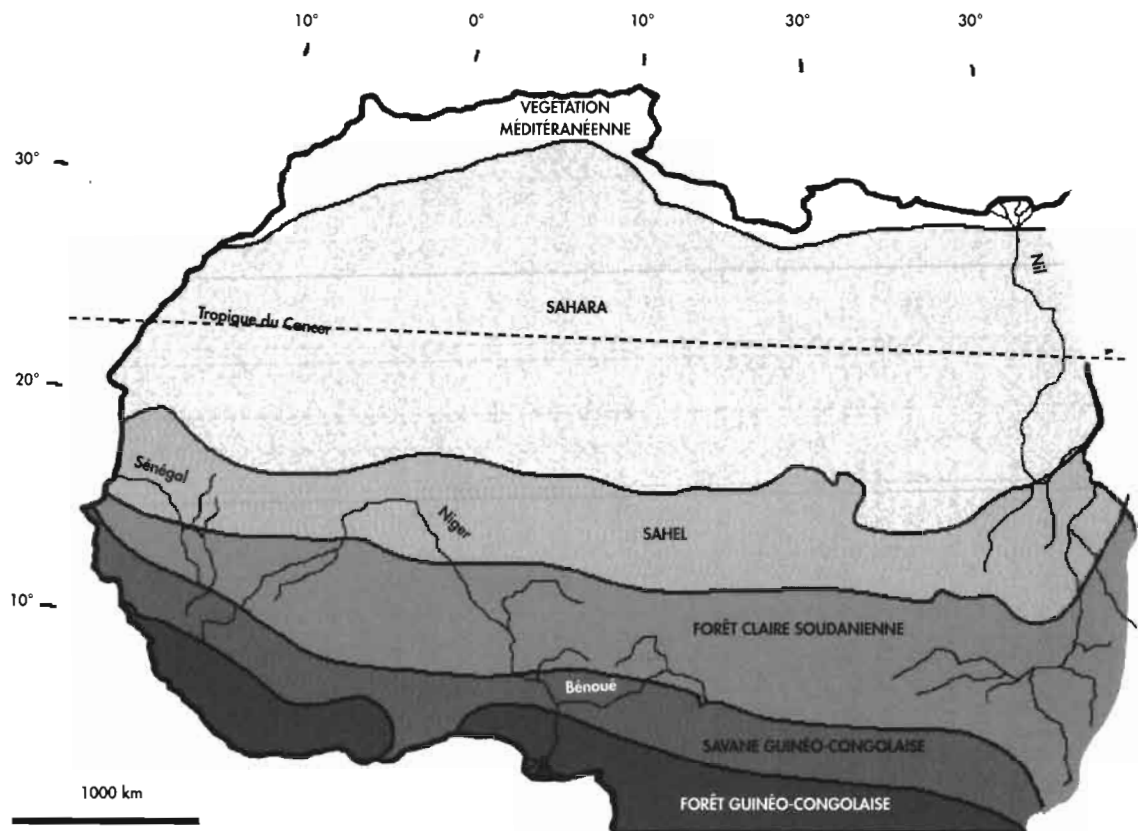
Alimentation actuelle : quelques éléments de comparaison

Pour interpréter les teneurs en ^{13}C du carbonate-hydroxylapatite des os humains des populations anciennes de l'Azawagh, il est nécessaire de les situer dans le contexte plus vaste de toute la bande tropicale sahélienne. Les travaux d'Ambrose et DeNiro (1986) portant sur le collagène de populations du Kenya dont l'alimentation est connue, vont nous servir de référence de base (*cf. supra* Méthode de datation). Nous pouvons, en première approximation, convertir les teneurs en ^{13}C du collagène en leur équivalent en carbonate-hydroxylapatite en estimant l'écart (Δ) entre les deux à 5.5-6.0 ‰, grâce au modèle de Lee-Thorp *et al.* (1989). Transcrites en $\delta^{13}\text{C}$, ces valeurs seront comprises entre 0 ± 1 ‰ et -8.5 ± 1 ‰, limites entre, d'une part une alimentation essentiellement basée sur une agriculture de mil ou sorgho, et d'autre part une alimentation pastorale à base de lait, viande et plantes en C4 et C3. Par ailleurs, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate-hydroxylapatite des squelettes de la faune actuelle récoltée à Amboseli au pied du mont Kilimanjaro (Boscherens *et al.*, 1996), complètent notre information en étayant les hypothèses envisageables sur le régime alimentaire de ces populations. Il faut préciser que l'information tirée de la teneur en ^{13}C du carbonate-hydroxylapatite est moins complète que celle obtenue grâce au collagène qui permet également l'étude des isotopes de l'azote ; ces derniers permettant de déceler la part d'alimentation carnée dans le régime alimentaire. Cependant, en région sahélienne, la rapide hydrolyse du collagène des ossements de surface, contrarie son étude et nous devons nous contenter du carbonate-hydroxylapatite purifié.

Nous avons exposé (*cf. supra* Méthode de datation), qu'avec un régime alimentaire très voisin les pasteurs d'Iwelen avaient des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du collagène identiques à celles des pasteurs Turkana qui nomadisaient au siècle dernier dans le Nord-Est du Kenya. Au Cameroun, Froment et Ambrose (1996) en analysant les cheveux des Massa, une population d'agro-pasteurs qui sont également pêcheurs sur le fleuve Logone (10°N - $15^\circ 30'\text{E}$), déterminent un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de -13.5 ‰ ($n = 26$; $\sigma = \pm 1.73$ ‰). Transposé en $\delta^{13}\text{C}$ moyen de carbonate-hydroxylapatite, et en tenant compte du fractionnement entre cheveu et collagène que nous estimons à $+1$ ‰ (tab.1) et d'un Δ de 6 ‰, ce dernier sera de -6.5 ‰.

Les mesures provenant du Kenya sont donc transposables, pour une première approche globale, au Sahel et au Sahara méridional. Ce point est important car les populations du Nord du Sahara qu'elles soient

FIGURE 39 : carte du couvert végétal



situées à l'Est dans la vallée du Nil (Iacumin *et al.*, 1996b), ou au Maghreb (Saliège, inédit) ont des teneurs en ^{13}C plus faibles, liées à un environnement dominé par les plantes en $\text{C3}^{(1)}$. De ce point de vue, le Sahara marque une coupure franche (voir carte du couvert végétal, fig. 39), entre le monde sahélien et le Nord. Plus au Sud, chez les peuples de la forêt, on retrouve à nouveau des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus négatives, dues à la consommation de tubercules (manioc, C3) et de viande (chasse). Ainsi, dans la forêt guinéo-congolaise ($2^{\circ}30'\text{N}$ - 10°E), les cheveux des populations Mvae et les Pygmoïdes Bakola ont des $\delta^{13}\text{C}$ de collagène de l'ordre de -22.5‰ (Froment et Ambrose, 1996).

Les sites archéologiques de référence du Sahel

Pour compléter nos points de comparaison, nous utiliserons également les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate-hydroxylapatite d'ossements de différents sites archéologiques du Sahara méridional et du Sahel, en particulier ceux de l'Aïr et de l'Ighazer, proches de l'Azawagh (Paris, 1996 ; Saliège *et al.*, 1995). Ces mesures ont été réalisées lors de la datation du carbonate-hydroxylapatite purifié de ces squelettes. Le bon recoupement de ces dates avec des matériaux de référence, valide les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate-hydroxylapatite. Nous avons résumé sur le tableau 5 les principales informations archéologiques relatives à l'alimentation de ces populations.

Les squelettes du site d'Afunfun ($16^{\circ}37'\text{N}$ - $08^{\circ}11'\text{E}$; 3850 BP) ont une valeur moyenne de $\delta^{13}\text{C}$ de l'ordre de $-3.2\text{‰} \pm 0.5$ ($n=4$, $\sigma=\pm 1.1$). Elle est proche de celle des populations Kikuyu du Kenya qui pratiquent une agriculture de plantes en C3 et C4 , ainsi que l'élevage de quelques chèvres et bovins (*cf. supra* Méthode de datation). Ce régime alimentaire n'est pas incompatible avec les hypothèses avancées à Afunfun par Paris (1984 et 1996). A Kobadi ($15^{\circ}22'\text{N}$ - $5^{\circ}29'\text{E}$) situé sensiblement à la même latitude, mais distant de 1500 km d'Afunfun, la valeur moyenne du $\delta^{13}\text{C}$ du carbonate-hydroxylapatite des trois squelettes mis au jour et datés de 3450 BP est de -3.2‰ ($n=3$, $\sigma=\pm 0.5\text{‰}$). Cette valeur est tout à fait comparable à celle d'Afunfun bien qu'à Kobadi les restes de poissons et d'hippopotames soient abondants dans les résidus de cuisine (Raimbault, 1996). Chin Tafidet ($17^{\circ}27'\text{N}$ - $06^{\circ}16'\text{E}$) et In Tuduf ($17^{\circ}33'\text{N}$ - $06^{\circ}19'\text{E}$), datés de 3600-4200 BP, sont situés dans l'Ighazer occidental et appartiennent au même espace culturel. Paris (1984 et

(1) Egypte : nécropole de Gebelein (de la période dynastique jusqu'à 6950 BP) : collagène : -19.8 à -19.4‰ ; carbonate-hydroxylapatite : -14.1 à -14.7‰ (Iacumin *et al.*, 1996).
 Maghreb : tombes du Sud marocain (2000 BP) : collagène : -16.5‰ , carbonate-hydroxylapatite : -11‰ .
 Algérie dans la vallée de la Saoura, tombes de Torba et de Ziar (1800-2200 BP) : collagène : -16‰ ($n=4$, $\sigma=\pm 2\text{‰}$) ; carbonate-hydroxylapatite : -11‰ , ($n=4$, $\sigma=\pm 1\text{‰}$) (Saliège, inédit).
 Une légère influence de plantes en C4 est déjà sensible dans le Sud marocain et aux limites du désert saharien.

TABLEAU 5 : relation entre le carbone 13 chez l'homme et l'alimentation déduite à partir des vestiges archéologiques

| site | humain | $\delta^{13}\text{C}$ CHA | $\delta^{13}\text{C}$ coll. | Âge BP moyen | Indicateurs alimentaires |
|-------------------------|--------|---------------------------|-----------------------------|--------------|--|
| Afunfun | humain | -3.2 | | 3850 | Ovicaprinés trouvés dans quelques sépultures, restes de bovins sur le site (Paris, 1996) |
| Kobadi | humain | -3.2 | | 3450 | reliquats culinaires dominés par les restes des grands poissons et d'hippopotames ; élevage d'un petit Bos à cornes courtes (Raimbault, 1996) |
| Chin Tafidet | humain | -4.5 | | 3800 | faune domestique : bovins, ovicaprinés, canidés, félidés, faune sauvage : hippopotame, crocodiles, varans, des suidés, des félidés, des girafes, des bovinés du type antilopes, abondants restes de poissons (Paris, 1996) |
| In Tuduf | humain | -4.5 | | 3600-4200 | faune sauvage représentée par de l'hippopotame, du phacochère et du buffle (<i>Syncerus caffer</i>), des restes de canidés, hyènes chacals, nombreux restes de poissons (<i>Lates niloticus</i>) faune domestique : bœufs (<i>Bos taurus</i> et peut être <i>Bos indicus</i>) et ovicaprinés (Paris, 1996) |
| Toubel | humain | -4.4 | | 500-1600 | probable : mil et poissons (Bedaux <i>et al.</i> , 1978) |
| Iwelen (TAC) | humain | -7.3 | -13.4 | 2300-3300 | probable : proche de l'alimentation des Touaregs avant la colonisation (Saliège <i>et al.</i> , 1995) |
| Iwelen et A.-Bous (PCG) | humain | -6,5 | -12,5 | 3900-5020 | inconnus : proche de l'alimentation des éleveurs nomades ? |
| Emi-Lulu (TCE) | humain | -7,0 | | 4280-5610 | idem |
| Hasi el Abiod | humain | -6,5 | | 6700 | inconnus |

1992) décrit en détail les résidus de cuisine ainsi que les vestiges de la faune sauvage environnante (tab.5). Le $\delta^{13}\text{C}$ moyen des six squelettes mis au jour à Chin Tafidet et à In Tuduf est de -4.5‰ ($n=6$ $\sigma = \pm 0.2$). Cette valeur est très proche de celle trouvée chez les squelettes exhumés à Toubel ($\delta^{13}\text{C} = -4.4\text{‰}$, $n=3$ $\sigma = \pm 0.2$), dans une butte anthropique du Nord du Delta intérieur du Niger, et datés de 500-1600 BP. Le site de Toubel ($15^{\circ}48'\text{N}$ - $4^{\circ}22'\text{E}$) occupe une position en bordure du delta intérieur du Niger analogue à celle du Toguéré Doupwil (500-850 BP) étudié par Bedaux *et al.* (1978) et situé 200 km plus au Sud. Ces auteurs décrivent le régime alimentaire des populations : mil (également fonio) et poisson ; la présence de moutons, de chèvres et de bovins est aussi attesté. La description d'un tel régime alimentaire peut parfaitement s'appliquer aux populations des sites de Chin Tafidet et d'In Tuduf, où le biotope il y a 3600-4200BP devait être comparable au Delta intérieur du Niger ; l'égalité des teneurs en ^{13}C plaide en faveur de cette hypothèse.

Pour terminer ce bilan, qui concerne, remarquons-le, des sépultures de surface sans superstructure lithique, on doit citer les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de quelques squelettes isolés et datés, à Hasi el Abiod dans le Sahara malien ($19^{\circ}10'\text{N}$ - $3^{\circ}23'\text{E}$; 6700 BP ; $\delta^{13}\text{C} = -6.5\text{‰}$), à Iwelen ($19^{\circ}46'\text{N}$ - $8^{\circ}26'\text{E}$; 6720 ± 300 BP ; $\delta^{13}\text{C} = -8.2\text{‰}$), à Areschima ($18^{\circ}09'\text{N}$ - $10^{\circ}02'\text{E}$; 6230 ± 200 BP, $\delta^{13}\text{C} = -5.2\text{‰}$).

A Iwelen ($19^{\circ}46'\text{N}$ - $8^{\circ}26'\text{E}$), les squelettes exhumés dans les tumulus à cratère datés entre 2200-3600 BP (Paris 1990 et 1996) ont une valeur moyenne de $\delta^{13}\text{C}$, bien établie puisque déterminée sur vingt squelettes, de -7.3‰ ($n=20$, $\sigma = \pm 1.1$). La dispersion des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ ($\sigma = \pm 1.1$) est faible, c'est l'indice d'une alimentation peu variée. Celle des squelettes des tombes à plate-forme circulaire gravillonnées, plus anciennes (3900-5020 BP, Paris, 1996), est de -6.5‰ ($n = 18$, $\sigma = \pm 0.9$). Pour les tumulus à couloir et enclos d'Emi Lulu dans le Ténéré du Tafassasset, encore plus anciennes (4280-5610 BP ; Paris et Saliège, 1996) cette valeur est de -7.0‰ ($n = 6$, $\sigma = \pm 1.14$). Il ne fait pas de doute que l'alimentation des bâtisseurs des tombes à cratère devait être proche de celle des nomades Touaregs. En revanche, nous possédons peu d'indices directs sur le régime alimentaire des populations qui ont édifié les tombes à plates-formes circulaires à galette d'Iwelen et de l'Adrar Bous, mais nous savons qu'elles étaient nomades. Pour les constructeurs de tumulus à couloir et enclos de la région d'Emi Lulu, monuments que l'on retrouve plus au Nord, dans le Tassili n'Ajjer, nous avons émis l'hypothèse (Paris et Saliège, 1996) qu'il pouvait s'agir des tombes d'un groupe nommé selon la nomenclature de l'art rupestre, « White Face » ou « Iheren Tahilali » (Smith, 1988 ; Muzzolini 1986) ; selon cette hypothèse, il s'agirait donc d'éleveurs nomades.

TABLEAU 6 : $\delta^{13}\text{C}$ des ossements de l'Azawagh.

| <i>Site</i> | <i>homme/animal</i> | $\delta^{13}\text{C}$ CHA | $\hat{\text{Age BP}}$ |
|-------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| RDL 1 | humain | -5,3 | 5010 \pm 120 |
| RDL1 | humain | -5,4 émail dent. | 5010 \pm 120 |
| TKBRN 3 | humain | -5,50 | 7175 \pm 250 |
| Mentès | humain | -6,40 | 2740 \pm 100 |
| TKNBWT 2 | humain | -7,65 | 5960 \pm 200 |
| T.M. 3 -1 | humain | -7,65 | 5230 \pm 100 |
| T.M. 3 -2 | humain | -7,40 | 5245 \pm 150 |
| T.M. 3-3 | humain | -7,60 | 4870 \pm 110 |
| TKBRN 4 | gazelle | -1,95 | 8120 \pm 250 |

Les squelettes de l'Azawagh

Nous avons daté sept squelettes dans l'Azawagh. On doit noter, qu'à l'exception du site de TMY3 où trois squelettes ont été étudiés, sur tous les autres gisements nous n'avons étudié qu'un seul individu. La dispersion des $\delta^{13}\text{C}$ est donc inconnue. A Mentès, le squelette daté de 2740 \pm 100 BP, a une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ proche de celle des pasteurs d'Iwelen, ce qui du point de vue de l'archéologie comme de l'environnement semble normal. Pour les autres sites (4900-7200 BP) les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des ossements (tab. 6) sont plus négatives que pour les ossements des sites de référence de l'Ighazer wan Agades ou de Kobadi. Elles sont en revanche proches de celles des ossements des populations de pasteurs. Pouvons-nous, sur la foi de ces valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ très proches, en conclure que toutes ces populations avaient la même alimentation ? Nous ne le pensons pas, car nous avons de façon manifeste deux types d'économie de subsistance. L'une est basée sur l'élevage de petits et grands ruminants (Iwelen, Adrar Bous, Emi lulu), l'autre sur la chasse, la pêche et la cueillette (Tamaya Mellet 3, Areschima, In Aridal, Takene Bawat, Hasi el Abiod). Malheureusement, nous ne possédons pour ces sites que de mesures isolées, la dispersion des $\delta^{13}\text{C}$, pour une population culturelle-

ment identifiée par l'archéologue, est donc inconnue. La comparaison la plus judicieuse avec les données actuelles, serait à faire avec les populations Massa qui vivent sur les rives du Logone. Ils sont agriculteurs, mais aussi éleveurs et pêcheurs. Ces populations montrent une grande hétérogénéité de leurs valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ (-6.5‰ ; $n = 26$, $\sigma = \pm 1.73$) consécutive à ce régime alimentaire diversifié (céréales C4, poisson du Logone, lait de vache). Cette dispersion des teneurs en ^{13}C est similaire à celle déterminée sur les squelettes des sites de l'Azawagh. Cela démontre qu'il est illusoire, avec si peu de données, seulement sept squelettes étudiés pour une période s'étalant sur plus de 2000 BP, d'aller au-delà de cette simple comparaison avec les Massa. Une étude site par site portant sur au moins une dizaine de squelettes, combinée à celle des résidus de cuisine (poissons, ruminants, faune sauvage, etc.) pourrait dans l'avenir permettre de préciser le régime alimentaire de ces populations.

Par contre, on peut affirmer que toutes ces populations ont un point commun : leur alimentation de base n'était pas constituée essentiellement de graminées. Si l'on compare les populations de Tamaya Mellet 3 (-7.65‰) à celles de Chin Tafidet et de Toubel, elles aussi consommatrices de poisson, de lait et/ou de viande, la différence est de 3‰ ; elle est de 4‰ avec les populations d'Afunfun et de Kobadi. La variable majeure est donc liée à la consommation de graminées. Plus celle-ci sera importante, plus le $\delta^{13}\text{C}$ tendra vers 0‰ (e.g. Kalenjin de Tanzanie, cf. *supra* Méthode de datation). Si la consommation de graminées sauvages ou domestiquées n'est pas à exclure pour les populations de l'Azawagh, elle ne constituait qu'une part secondaire (e.g. Tamaya Mellet 3) du régime alimentaire.

L'information principale que nous dégageons de cette confrontation avec les sites limitrophes plus récents de l'Ighazer wan Agades, mais également avec le site de Kobadi, est qu'un changement important intervient dans l'alimentation, à une période peut-être décalée de quelques centaines d'années vis à vis de la fin du dernier humide, et que l'on peut situer entre 3200 et 4000 BP (Chin Tafidet, In Tuduf, Afunfun, In Tekebrine et Kobadi). La consommation de graminées devient importante dans le menu des hommes du Sahel. Il faut noter que ce changement intervient alors que ces populations peuvent encore se nourrir de poissons (Chin Tafidet, Kobadi), en d'autres termes avant que les contraintes climatiques imposent, soit le nomadisme, soit la recherche vers le Sud de conditions plus clémentes. C'est une période où apparaissent de grandes évolutions culturelles (e.g. Paris *et al.*, 1992 ; Quéchon, 1995). Cette rupture coïncide avec la mise en évidence d'une modification dans le choix du dégraissant

végétal qui devient uniquement constitué de graminées. Ce changement dans la technologie de fabrication des céramiques, ne peut s'interpréter que comme lié à une importante activité villageoise. La concomitance entre les deux événements, décelée de façon indépendante, peut légitimement s'interpréter comme une mise en évidence de l'agriculture.

Conclusion

Par rapport à nos conclusions précédentes (Durand et Paris, 1986 ; Paris *et al.*, 1993), notre position sur l'évolution culturelle des groupes humains qui vivaient dans l'Azawagh pendant l'Holocène s'est précisée. Nous ne pouvons pas maintenir, dans l'état actuel de nos données et à ce niveau régional, le découpage que nous proposons, en Néolithique ancien, moyen et récent, correspondant plus ou moins aux épisodes de l'Holocène ancien, moyen et récent, comme J.-P. Roset (1987, 1992) a pu le faire pour l'Aïr par exemple.

Selon nos données, la présence humaine n'est attestée, du moins datée, qu'à partir de 8300 BP à Tamaya Mellet (TMY 1), c'est à dire pendant le grand épisode humide de l'Holocène ancien. Jusque vers 6500 BP, on constate (*cf.* fig. 35) que l'occupation humaine est toujours directement tributaire des conditions climatiques : présence lors des phases humides, absence lors des phases plus défavorables. Il est difficile de distinguer les sites de cette période par leur culture matérielle. L'industrie lithique semble se caractériser par l'abondance relative des microlithes, des armatures et des pointes d'Ounan, ces dernières étant toutefois plus fréquentes dans les sites de l'Est de la zone (Tamaya Mellet) que dans l'Ouest (Takene Bawat). Les harpons en os sont peut-être également connus dès cette période, mais on en trouve aussi lors des épisodes plus tardifs. La poterie n'apparaît que vers 7700 BP (In Tekebrin 6), soit presque deux millénaires après les plus anciennes céramiques de Tagalagal dans l'Aïr (Roset 1992, 1995). Elle se caractérise par un dégraissant végétal particulier, à fibre longue, attribué à des plantes hydrophiles situées à la périphérie de plans d'eau (*cf. supra*). Les formes et les décors sont assez homogènes. Les décors sont obtenus par impression au peigne, et nous n'avons pu, en première analyse, les distinguer de ceux rencontrés aux périodes suivantes. Il en est de même pour les formes, plus ou moins ouvertes mais toujours à fond hémisphérique. Nous pouvons dire, suivant en cela J.-P. Roset (1983), que les techniques semblent établies dès l'apparition de la céramique. L'industrie lithique paraît conserver les mêmes caractéristiques que précédemment.

L'économie de subsistance, comme le montrent les déterminations effectuées par Ph. Columbeau et W. Van Neer, se caractérise par la chasse et la pêche. Il n'y a pas d'évidence de domestication. La présence de meules et molettes traduit probablement une cueillette régulière de plantes (graminées ?) et leur transformation en farine. Cet apport végétal devait tenir une certaine place dans l'alimentation, mais nous n'avons pas d'évidence d'agriculture. Nous pouvons même penser, en tenant compte des teneurs en ^{13}C obtenues sur les ossements humains, que la consommation de graminées de type mil ou sorgho était probablement secondaire.

Ce n'est qu'à partir de 5000 BP, avec les premiers indices de domestication (*Bos Taurus*), que la présence humaine paraît s'affranchir des conditions climatiques. Cette domestication est donc plus tardive que dans l'Est de l'Aïr (Carter et Clark, 1976 ; Paris, 1997) et sa diffusion correspond au schéma avancé par A.B. Smith (1980). Pour ce qui est de la consommation de céréales, ce n'est que vers 4200-3900 BP qu'elle se perçoit, à Afunfun, à travers les teneurs en ^{13}C . L'occupation est désormais permanente, même lorsque les conditions de vie se dégradent. L'habitat est soit concentré autour de quelques mares (Mentes, Tamaya Mellet, In Aridal), soit dispersé, sous forme de petits campements (Takene Bawat, vallée de l'Azawagh, Mentes, Tasa Takorat, In Teduq). La culture matérielle se caractérise par une poterie abondante aux décors variés et complexes mais toujours obtenus par la technique d'impression au peigne. Les formes restent dans l'ensemble identiques à ce qui se faisait auparavant, à l'exception des poteries sub-cylindriques d'Ikawaten et des vases ovales trouvés dans divers sites de l'Ighazer wan Agades.

Lorsque les conditions d'aridité se manifestent, à partir de 4000 BP, apparaît un autre type de civilisation, qui se distingue des précédentes par l'inhumation de ses morts sous des monuments funéraires. Les plus anciens sont du type tumulus en croissant (TEC), que l'on retrouve dans toute la zone étudiée, à Tillia, In Aridal, Aderantarat, In Aridal, Tamaya Mellet. Cette forme est datée dans l'Azawagh, à Tamaya Mellet, de 3500 BP, mais elle est connue plus au Nord et à l'Est dès 4000 BP (Paris, 1996). Cette apparition pourrait être liée à l'arrivée d'une population plus adaptée aux conditions arides (éleveurs nomades ?). Nous manquons toutefois d'éléments pour étayer cette hypothèse, car les traces d'habitat correspondant à ces constructeurs de tumulus n'ont pas été identifiées. Peut-être pourrait-on leur attribuer ces petits sites, qui traduisent des occupations temporaires ? L'absence caractéristique de mobilier funéraire dans les monuments funéraires ne facilite pas les rapprochements. Pendant l'épisode 4000-3500 BP, on observe la coexistence des deux types

de cultures, notamment dans l'Ighazer (Chin Tafidet, In Tuduf, Afunfun). Les conditions de vie semblent plus difficiles dans l'Azawagh, qui ne bénéficie plus des apports en eau venus de l'Aïr. Localement on constate toutefois encore une permanence de la tradition néolithique autochtone dans certains lieux privilégiés (In Tekebrin, Mentès, Tamaya Mellet). A In Tekebrin 1, on constate la présence, vers 3600 BP, d'une culture totalement différente du Néolithique de type « saharien méridional » rencontré habituellement dans cette région de l'Azawagh. Elle se particularise notamment par sa céramique qui réfère à un monde plus méridional (Paris *et al.*, 1992). Cette culture originale se caractérise par le travail du minerai de cuivre pour fabriquer de petites lames. Cette incursion, apparemment ponctuelle, dans le domaine « saharien », à une période pourtant climatiquement peu propice est assez étonnante.

Après 3500 BP les traces d'habitat sont très rares. Les vestiges laissés par des campements saisonniers d'éleveurs semi-nomades sont très ténus, d'autant plus que le métal remplace la pierre pour la fabrication de la plupart des outils. Les tombes monumentales sont le meilleur « marqueur » pour cette période et leur diffusion permet de suivre la progression du peuplement jusqu'à la période islamique (tumulus en croissant, tumulus en cratère, bazinas et sépultures rectangulaires).

Les marqueurs culturels que nous avons choisis pour cette première approche (*cf.* Cadre de l'étude) se sont révélés pertinents pour une classification préliminaire et provisoire. Toutefois nous ne considérons pas que les « lozange scrappers », puissent être considérés comme significatifs d'un Néolithique de l'Azawagh comme semble le suggérer la carte de A.B. Smith, dans son article sur le Néolithique saharien (1980). Nous ne pourrions pas progresser dans notre connaissance du peuplement et des civilisations qui vivaient dans l'Azawagh pendant l'Holocène ancien et moyen sans une étude approfondie des industries lithiques et céramiques. Si certains sites sont manifestement des sites occupés à toutes les périodes (*cf.* Tamaya Mellet 3), d'autres peuvent être considérés comme homogènes (Takené Bawat 1, In Aridal, Mentès, In Tekebrin 6 et 1). Dans les deux cas, cependant, cette étude archéologique ne pourra se faire sans une approche globale du site choisi et notamment sans faire appel à l'approche isotopique, qui s'est révélée particulièrement pertinente dans le domaine de la céramique et des ossements. Au-delà des datations – indispensables pour la compréhension d'un site de surface – les isotopes et notamment la teneur en ^{13}C permettent une approche environnementale très fructueuse. Enfin, nous croyons avoir bien mis en évidence qu'une occupation humaine ne peut être datée que par celle de ses

activités : poterie, ossements humains ou de faune domestiquée, œuf d'autruche lorsque ce dernier a été manufacturé, charbon de bois avec certaines précautions, etc. En effet, nous avons plusieurs fois pu constater que les coquilles de mollusques trouvées sur un site ne dataient pas l'occupation humaine, mais un épisode climatique (cf. Mentès).

En conclusion, nous avons pu retracer dans ses grandes lignes l'histoire du peuplement de l'Azawagh pendant l'Holocène. Cette région, qui géographiquement se présente comme une voie de communication entre les pays du Nord et de l'Est, apparaît cependant technologiquement en retard par rapport au Hoggar, au Ténéré et à l'Aïr voisins. Le Néolithique, au sens classique du terme, n'est vraiment attesté qu'à partir de 5000 BP. Auparavant, existe une population qui possède certes la céramique (7700 BP) et broie le produit de ses cueillettes dans des meules, mais qui se révèle totalement tributaire de son environnement. L'alimentation carnée est alors constituée uniquement par la chasse et la pêche. A partir de 3600 BP, se manifestent, à travers les coutumes funéraires, les premiers signes d'une nouvelle culture très probablement véhiculée par des populations nomades ou semi-nomades venues des régions orientales et nord-orientales. Ces populations, qui pratiquent les inhumations sous monuments funéraires, vont progressivement remplacer les populations néolithiques indigènes. Le mobilier céramique trouvé dans des tombes de l'Ighazer (Tuluk, Tagaza) ou les bracelets et broderies de la tombe n°68 d'Iwelen montrent des objets et des décors toujours en usage dans ces régions (Paris, 1996). Ces populations sont très probablement les lointains ancêtres des touaregs. Dans une vallée privilégiée, comme à In Teduq, cette occupation humaine s'est poursuivie sans discontinuité au moins de l'Holocène moyen (Awzerkat sud) jusqu'à nos jours. Le caractère funéraire (sacré ?) des lieux, marqué depuis le Néolithique récent par les tumulus en croissant d'Aderantarat, puis par la nécropole TDQ N1 a été confirmé par les touaregs islamisés qui en ont fait un lieu de pèlerinage.

Références bibliographiques

- ACHARD et PARIS (F.) (1993). *Inventaire des collections archéologiques remises par l'ORSTOM à l'IRSH*. Niamey.
- A.I.E.A. (1991). *Consultants' group meeting on C-14 reference materials for radiocarbon laboratory*. K. Rozanski scientific secretary, 18-20 février, Vienne, Autriche.
- ALZOUMA K. (1994). Fluctuations du niveau marin au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque dans le bassin intracratonique des Iullemmeden (Niger, Afrique occidentale). *Africa Geoscience Review*, 1, 2, p. 131-281.
- AMBLARD S. et PERNES J. (1989). The identification of cultivated pearl millet (*Pennisetum*) amongst plant impressions on pottery from Oued Chebbi (Dhar Oualata, Mauritania). *African Archaeological Review*, 7, p. 117-126.
- AMBLARD-PISON S. (1996). Neolithic agricultural evidence in the Dhar Tichitt an Walata (Mauritania). In : G. Pwiti et R. Soper (Eds), « *Proceedings of the 10th Congress of the Pan African Association for prehistory and related studies* », Harare, Zimbabwe, juin 1995. Université du Zimbabwe, p. 421-427.
- AMBROSE S.H. et DeNIRO M.J. (1986). Reconstitution of African human diet using bone collagen. *Nature*, 319, p. 321-324.
- AMBROSE S.H. et SIKES N. E. (1991). Soil carbon isotope evidence for Holocene habitat change in the Kenya Rift valley. *Science*, 253, p. 1402-1405.
- ANDERSON R.Y., BRADBURY J.P., DEAN W.E. et STUIVER M. (1993). Chronology of Elk Lake sediments: Coring, sampling, and time-series construction. *Geol. Soc. Am., Special paper*, 276, p. 37-43.
- ATLEY S. de (1980). Radiocarbon dating of ceramic materials ; progress and prospects. In : M. Stuiver et R.S. Kraa (Eds), « *Proceedings of the 10th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 22, 3, p. 987-996.

- AUCOUR A.-M. (1988). Le paléolac de Taoudenni (Sahara malien). Étude sédimentologique et implications paléoclimatiques. *Würzburger Geographische Arb.*, 69, p. 87-102.
- BADIN B. (1980). Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. *Cah. ORSTOM, sér. pédologie*, XVIII, 3-4, p. 197-215.
- BALESDENT J., MARIOTTI A. et GUILLET B. (1986). Natural ^{13}C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. *Sol. Biol. Biochem*, 19, 1, p. 25-30.
- BARD E., ARNOLD M., MAURICE P., DUPRAT J., MOYES J. et DUPLESSY J.-C. (1987). Retreat velocity of the North Atlantic polar front during the last deglaciation determined by ^{14}C accelerator mass spectrometry. *Nature*, 328, p. 791-794.
- BARD E., HAMELIN B., FAIRBANKS R.G. et ZINDLER A. (1990). Calibration of the ^{14}C time scale over past 30,000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals. *Nature*, 345, p. 405-410.
- BECKER B. et KROMER B. (1993). The continental tree-ring record, absolute chronology, ^{14}C calibration and climatic change at 11 ka. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 103, p. 67-71.
- BEDAUX R.M.A., CONSTANTSE-WESTERMANN A., HACQUEBORD L., LANGE A.G., et van der WAALS G. (1978). Recherches archéologiques dans le Delta intérieur du Niger (Mali). *Palaeohistoria*, 20, p. 91-220.
- BELLION Y. (1987). Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudenni, Iullemeden, Tchad). Thèse, Avignon. *Publication occasionnelle CIFEG*, 1989, 17, 302 p.
- BENDER M.H. (1968). Mass spectrometric studies of carbon 13 variation in corn and other grasses. *Radiocarbon*, 10, p. 468-472.
- BENDER M.H. (1971). Variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbondioxide fixation. *Photochemistry*, 10, p. 1239-1244.
- BENNER R., FOGEL M.L., SPRAGUE E.K. et HODSON R.H. (1987). Depletion of ^{13}C lignin and its implication for stables carbone isotope studies. *Nature*, 329, p. 708-710.
- BENSON L. (1993). Factors affecting ^{14}C ages of lacustrines carbonates : timing and duration of the last highstand in the Lahontan basin. *Quaternary Research*, 39, p. 163-174.
- BERNUS E. (1981). Touaregs nigériens : unité culturelle et diversité régionale d'un peuple pasteur. *Mém. ORSTOM*, 94, 840 p.
- BERNUS S. et CRESSIER P. (Eds) (1991). La Région d'In Gall - Tegidda n'Tesemt (Niger), Programme Archéologique d'Urgence (1977-1981), IV : Azelik-Takadda et l'implantation sédentaire médiévale. *Études Nigériennes*, 51, 390 p.
- BOCHERENS H., FOGEL M.L., TUROSS N. et ZEDER M. (1995). Preservation of trophic structure and climatic information through isotopic signatures in fos-

- sil mammal from Pleistocene cave in Southern England. *J. Archaeological Sci.*, 22, p. 327-340.
- BOCHERENS H., KOCH P.L., MARIOTTI A., GERAADS D. et JAEGER J.-J. (1996). Isotopic biogeochemistry (^{13}C , ^{18}O) of mammalian enamel from African Pleistocene hominid sites. *Palaeos*, 11, p. 306-308.
- BONEL G. (1972). Contribution à l'étude de la carbonatation des apatites. *Ann. Chim.*, 7, p. 65-144.
- BONNABEL L. (1990). In *Tekebrin 1. Approche de l'organisation et des artefacts sur un site de surface saharien*. Mémoire de DEA, Université de Paris I.
- BROECKER W. E. et OLSON E.A. (1961). Lamont radiocarbon measurements VI. *Am. J. Sci. Radiocarbon suppl.*, 1, p. 111-132.
- 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, p. 21-26.
- BROECKER W.S., KENNETT J.P., FLOWER B.P., TELLER J.T., TRUMBORE S., BONANI G. et WOLFLI W. (1989). Routing of meltwater from the Laurentide ice sheet during the Younger Dryas cold episode. *Nature*, 341, p. 318-321.
- CAMPS G. (1969). Amekni. Néolithique ancien du Hoggar. *Mém. CRAPE*, Paris, AMG, 10, 230 p.
- CAMPS G. (1974). *Les civilisations préhistoriques de l'Afrique du Nord et du Sahara*. Doin, Paris, 366 p.
- CARTER P.L., CLARK J.D. (1976). Adrar Bous and African cattle. *7^e Congrès pan-africain de Préhistoire*, Addis Abeba, 1971, p. 487-493.
- CHAMLA M.-C. (1968). Les populations anciennes du Sahara et des régions limitrophes, étude des restes osseux humains néolithiques et protohistoriques. *Mém. CRAPE*, Paris, AMG, 9, 248 p.
- CHUDEAU R. (1921). Les changements de climat du Sahara pendant le Quaternaire. *C. R. Acad. Sci.*, 172, p. 604-607.
- COMMELIN D., RAIMBAULT M. et SALIEGE J.-F. (1993). Nouvelles données sur la chronologie du Néolithique au Sahara malien. *C. R. Acad. Sci.*, 137, série II, p. 543-550.
- COQUE R. (1978). Observations sur la limite septentrionale des accumulations ferrugineuses de l'Afrique de l'Ouest. *Trav. doc. géogr. tropicale*, CEGET, Bordeaux, 33, p. 66-80.
- COUREL M.-F. (1977). *Etude géomorphologique des dunes du Sahel (Niger nord-occidental, Haute-Volta septentrionale)*. Thèse 3^e cycle, Paris VI, 289 p., 25 pl. photo et 1 carte h.t.
- CRAIG H. (1954). Carbon 13 in plants and the relationships between carbon 13 and carbon 14 variations in nature. *J. Geol.*, 62, p. 115-149.
- CURRIE L.A. (1972). The evaluation of radiocarbon measurements and inherent statistical limitations in age resolution. In : T.A. Rafter et T. Grant-Taylor (Eds), « *8th Internat. Conf. on Radiocarbon Dating* ». Royal Soc., Wellington, p. 39-57.
- DAMON P.E., LERMAN J.C. et LONG A. (1978). Temporal fluctuations of the atmospheric ^{14}C , causal factors and implications. *Ann. Rev. of Earth and Planetary Sci.*, 6, p. 457-494.

- DEINES P. (1980). The isotopic composition of reduced organic carbon. In : P. Fritz et J.-Ch. Fontes (Eds), « *Handbook of environmental isotopic geochemistry - 1 : The terrestrial environment* ». Elsevier, p. 329-406.
- DELIBRIAS G., GUILLIER M.-T. et LABEYRIE J. (1974). Gif natural radiocarbon measurements VIII. *Radiocarbon*, 13, 2, p. 15-24.
- DELQUE KOLIC E. (1995). Direct radiocarbon dating of pottery: selective heat treatment to retrieve smoke-derived carbon. "Proceedings of the 15th International ¹⁴C Conference". *Radiocarbon*, 37, 2, p. 275-284.
- DeNIRO M.J. (1985). *Post mortem* preservation and alteration of *in vivo* bone collagen isotope ratio in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature*, 317, p. 806-809.
- DeNIRO, M.J. et EPSTEIN, S. (1978a). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, p. 341-351.
- DeNIRO M.J. et EPSTEIN S. (1978b). Carbon isotopic evidence for different feeding patterns in two hyrax species occupying the same habitat. *Science*, 201, p. 906-908.
- DETTWILLER J. (1965). Note sur la structure du Front Intertropical boréal sur le nord-ouest de l'Afrique. *La Météorologie*, 80, p. 337-348.
- DIKOUMA M.S. (1994). Fluctuations du niveau marin au Maastrichtien et au Paléocène dans le bassin intracratonique des Iullemmeden (Niger occidental). *Africa Geoscience Review*, 1, 2, p. 283-417.
- DOMIAN S. (1989). *Architecture soudanaise. Vitalité d'une tradition urbaine et monumentale*. L'Harmattan, 191 p.
- DOUGLASS A.E. (1935). Dating Pueblo Bonito and other ruins of the Southwest. *National Geographical Society Contrib. techn. Papers, Pueblo Bonito Series*, 1, p. 1-74.
- DOWNTON W.J.S. (1971). Adaptive and evolutionary aspects of C4 photosynthesis. In : M.D. Hatch, C.B. Osmond et R.O. Slatier (Eds), « *Photosynthesis and photorespiration* ». Wiley Interscience, New York, p. 3-17.
- DRESCH J. et ROUGERIE G. (1960). Observations morphologiques dans le Sahel du Niger. *Rev. Géomorph. dynam*, XI, 4-6, p. 49-58.
- DUBOIS D. (1979). *Etude géologique de formations oolithiques ferrugineuses du bassin des Iullemmeden (Rép. du Niger)*. Thèse 3^e 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 Iullemmeden (Niger occidental) : sédiments, transformations post-sédimentaires et cuirassements. *Trav. doc. géogr. tropicale*, CEGET, 33, p. 359-378.
- DUBOIS D., ICOLE M. et TRICHET J. (1984). Évolution géomorphologique de la vallée du Niger aux abords de Niamey (République du Niger). *Bull. Soc. géol. Fr.*, 6, p. 1305-1318.
- DUBOIS D. et LANG J. (1981). Étude lithostratigraphique et géomorphologique du Continental terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Iullemmeden (Niger). *Bull. IFAN*, Dakar, 43, A, 1-2, p. 1-42.

- DUPONT B. et DELIBRIAS G. (1970). Datation par le carbone 14 d'un niveau sédimentaire de l'archipel du lac Tchad. *Cah. ORSTOM, série géol.*, II, 1, p. 43-49.
- DURAND A. (1995). Sédiments quaternaires et changements climatiques au Sahel central (Niger et Tchad). *Africa Geoscience Review*, 2, 3-4, p. 323-614.
- 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*, 16, p. 215-243.
- 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, p. 77-90.
- DURAND A. et LANG J. (1986). Approche critique des méthodes de reconstitution paléoclimatique : le Sahel nigéro-tchadien depuis 40000 ans. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2, p. 267-278.
- DURAND A., LANG J., MOREL A. et ROSET J.-P. (1983). Évolution géomorphologique, stratigraphique et paléoclimatique au Pléistocène supérieur et à l'Holocène de l'Aïr oriental (Sahara méridional, Niger). *Rev. Géol. Dynam. Géogr. Phys.*, 24, 1, p. 47-59.
- 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. *Trav. doc. ORSTOM*, 197, p. 127-130.
- FABRE J. et PETIT-MAIRE N. (1988). Holocene climatic evolution at 22-23° N from two paleolakes in the Taoudenni area (Northern Mali). *Paleogeogr., Paleoclim., Paleoecol.*, 65, p. 133-148.
- FERGUSON C.W. (1986). High-precision radiocarbon dating of the bristlecone pine from 6554 to 5350 BC. In : M. Stuiver et Kra R.S. (Eds), « *Proceedings of the 12th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 28, 2B, p. 943-953.
- FONTES J.-Ch. (1979). Determination of the initial ¹⁴C activity of the total dissolved carbon. A review of the existing models and a new approach. *Water Resources Research*, 15, p. 399-413.
- FONTES J.-Ch. et POUCHAN P. (1975). Les cheminées du lac Abhé (T.F.A.I.) : stations hydroclimatiques de l'Holocène, *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 280, p. 382-386.
- FONTES J.-Ch., GASSE F., CAMARA E., SALIÈGE J.-F., et STEINBERG M. (1985). Late Holocene changes in lake Abhé hydrology (Ethiopia-Djibouti). *Z. Gletscherkd. und Glazialgeol.*, 21, p. 89-96.
- FREUNDLICH J., KUPER R., BREUNIG P. et BERTRAM H.G. (1989). Radiocarbon dating of ostrich eggshells. *Radiocarbon*, 31, 3, p. 1030-1034.
- FROMENT A. et AMBROSE S.H. (1996). Analyses tissulaires isotopiques et reconstruction du régime alimentaire en milieu tropical : implications pour l'archéologie. *Bull. et Mem. de la Société d'anthropologie de Paris*, n.s.t., 7, 3-4 p. 79-98.

- GABASIO M., EVIN J., ARNAL G. B. et ANDRIEUX P. (1986). Origins of carbon in potsherds. *Radiocarbon*, 28, 2A, p. 711-718.
- GASSE F., FONTES J.-Ch., PLAZIAT J.-C., CARBONEL P., KACZMARSKA I., DEKKER de P., SOULIÉ-MARSCHÉ 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, p. 1-46.
- GASSE F., TEHET R., DURAND A., GIBERT E. et FONTES J.-Ch. (1990). The arid-humid transition in the Sahara and Sahel during the last deglaciation, *Nature*, 346, p. 141-146.
- GAVAUD G. (1970). Les grandes divisions du Quaternaire des régions Ouest-Africaines établies sur des bases pédologiques. *Congr. Géol. Afr. Ibadan* et ORSTOM, Yaoundé, 21 p.
- GOODFRIEND G.A. et HOOD D.G. (1983). Carbon isotope analysis of land snail shells : implications for carbon sources and radiocarbon dating. *Radiocarbon*, 25, 3, p. 810-830.
- GOSSELAIN O. (1992). Bonfires of the enquires. Pottery firing temperatures in Archaeology : what fore. *J. Archaeological Sci.*, 19, p. 243-259.
- GREBENART D. (1984). Les sépultures de Shimumenin. In : F. PARIS (Ed.), « *Les sépultures du Néolithique final à l'Islam* ». *Études nigériennes*, 50, p. 221-230.
- GREBENART D. (1985). *Le Néolithique final et les débuts de la métallurgie. La région d'In Gall- Tegidda n Tesemt (Niger)*. P.A.U. 1977-1981. *Études Nigériennes*, 49, 418 p., 279 fig.
- GREBENART D. (1988). *Les premiers métallurgistes en Afrique occidentale*. Éd. Errance-Les Nouvelles Éditions Africaines, Paris-Abidjan, 290 p.
- GREIGERT J. (1966). Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemmeden. *Publ. Dir. Mines Géol. Rép. Niger*, 2, 234 p. et 1 carte h.t.
- HALFMAN J.D., JOHNSON T.C. et FINNEY B. (1994). New AMS dates, stratigraphic correlations and decadal climatic cycles for the past 4 ka at lake Turkana, Kenya. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 111, p. 83-98.
- HATCH M.D. et SLACK C.R. (1966). Photosynthesis by sugarcane leaves new carboxylation reaction and the pathway of sugar formation. *Biochem. J.*, 101, p. 103-111.
- HAAS H. et BANEWICZ J. (1980). Radiocarbon dating of bone apatite using thermal release of CO₂. *Radiocarbon*, 22, p. 537-544.
- HASSAN A.A., TERMINE J.D. et HAYNES C.V. (1977). Mineralogical studies on bone apatite and their implication for radiocarbon dating. *Radiocarbon*, 19, p. 364-374.
- HAYNES C.V. (1968). Radiocarbon : analysis of inorganic carbon of fossil bone and enamel. *Science*, 161, p. 687-688.
- HEDGES R.E.M., CHEN TIEMI et HOWSLEY R.A. (1992). Results and methods in radiocarbon dating of pottery. *Radiocarbon*, 34, 3, p. 906-915.

- HEDGES R.E.M. et van KLINKEN G.J. (1992). A review of current approaches in the pretreatment of bone for radiocarbon dating by AMS. In : A. Long et R.S. Kra (Eds), « *Proceedings of the 14th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 34, 3, p. 279-291.
- HEDGES R.E.M. et LAW I.A. (1989). The radiocarbon dating of bone. *Applied Geochemistry*, 4, p. 249-253.
- HEDGES R.E.M., LEE-THORP J.A. et TUROSS N.C. (1995). Is tooth enamel carbonate a suitable material for radiocarbon dating? *Radiocarbon*, 37, 2, p. 285-290.
- HERVIEU J. (1977). Témoins paléoclimatiques et environnement préhistorique dans le massif de Termit (Niger oriental). *Cah. ORSTOM sér. Géologie*, IX, 1-2, p. 3-14.
- HIGHAM T. (1994). Radiocarbon dating New Zealand prehistory with moa egg-shell : some preliminary results. *Quaternary Science Review*, 13, p. 163-169.
- HILLAIRE-MARCEL C. (1983). Paléohydrologie isotopique des lacs de l'erg Ine-Sakane. In : N. Petit-Maire et J. Riser (Eds), « *Sahara ou Sahel ? Quaternaire récent du bassin de Taoudenni (Mali)* ». CNRS, Marseille, p. 87-95.
- HILLAIRE-MARCEL C., RISER J., ROGNON P., PETIT-MAIRE N., ROSSO J.-C. et SOULIE-MARCHE I. (1983). Radiocarbon chronology of Holocene hydrologic changes in northeastern Mali. *Quaternary Research*, 20, p. 145-164.
- HUBER B. et GIERTZ-SIEBENLIST V. (1969). Unsere tausendjährige Eichen-Jahrringchronologie durchschnittlich 57(10-159) fach belegt. *Sitzungsbericht der Österr. Akad. der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, 178, 1-4, p. 37-45.
- IACUMIN P., BOCHERENS H., MARIOTTI A. et LONGINELLI A. (1996a). Oxygen isotope analysis of co-existing carbonate and phosphate in biogenic apatite : a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate ? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 142, p. 1-6.
- IACUMIN P., BOCHERENS H., MARIOTTI A. et LONGINELLI A. (1996b). An isotopic palaeoenvironmental study of human skeletal remains from the Nile Valley. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 126, p. 15-30.
- 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*, 11, p. 13-44.
- JANICOT S. (1990). Deux facteurs principaux impliqués dans la sécheresse au Sahel. *Veille climatique satellitaire*, ORSTOM-CNRS, Lannion, 32, p. 24-33.
- JANICOT S. et FONTAINE B. (1993). L'évolution des idées sur la variabilité inter-annuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. *La Météorologie*, 8, 1, p. 28-53.

- JOLEAUD L. (1934). Vertébrés subfossiles de l'Azawagh (Colonie du Niger). *C. R. Acad. Sci.*, 198, p. 599-601.
- JOSEPH A. (1989). 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 ^{14}C . *Palaeoecology of Africa*, 20, p. 19-35.
- KELLEY H. (1934). Harpons, objets en os travaillés et silex taillés de Taferjit et Tamaya Mellet (Sahara nigérien). *J. Soc. des Africanistes*, II, p. 135-143.
- KLEIN J., LERMAN J.C., DAMON P.E. et RALPH E.K. (1982). Calibration of radiocarbon dates : Workshop on calibration of the radiocarbon time scale. *Radiocarbon*, 24, 2, p. 103-150.
- KRUEGER W. (1991). Exchange of carbon with Biological Apatite. *J. of Archeological Sci.*, 18, p. 355-361.
- KRUEGER H.W. et SULLIVAN C.H. (1984). Models for carbon isotope fractionation between diet and bone. In : J.F. Turnland et Johnson P.E. (Eds), « *Stable Isotope in Nutrition* ». *Am. Chem. Soc. Symp. Ser.*, 258, p. 205-220.
- LAI C., MAZAUD A. et DUPLESSY J.-C. (1996). Geomagnetic intensity and ^{14}C abundance in the atmosphere and ocean during the past 50 kyr. *Geophysical Research Letters*, 23, 16, p. 2045-2048.
- LAMBERT R. (1935). Terrasses alluviales dans les vallées mortes de la colonie du Niger. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, VI, p. 79-86.
- LANG J., KOGBE C., ALIDOU S., ALZOUMA K., DUBOIS D., HOUSSOU A. et TRICHET J. (1986). Le Sidérolithique du Tertiaire ouest-africain et le concept de Continental terminal. *Bull. Soc. géol. Fr.*, II, 4, p. 605-622.
- LANG J., KOGBE C., ALIDOU S., ALZOUMA K., BELLION Y., DUBOIS D., DURAND A., GUIRAUD R., HOUSSOU 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, p. 79-99.
- LEAVITT S.W. et LONG A. (1982). Evidence for $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ fractionation between tree, leaves and wood. *Nature*, 298, p. 742-743.
- LEE-THORP J.A. et van der MERWE, N.J. (1987). Carbon isotope analysis of fossil bone apatite. *South African J. of Science*, 83, p. 71-74.
- LEE-THORP J.A. et van der MERWE, N.J. (1991). Aspects of the chemistry of modern and fossil biological apatites. *J. of Archeological Sci.* 18, p. 343-354.
- LEE-THORP J.A., SEALY J.C. et van der MERWE N.J. (1989). Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. *J. of Archeological Sci.*, 16, p. 585-599.
- LeGEROS R.Z. (1981). Apatites in biological systems. *Progress in crystal growth characteristics*, 4, p. 1-45.
- LeGEROS R.Z., TRAUTZ O.R., KLEIN E. et LeGEROS J.P. (1983). Two types of carbonate substitution in apatite structure. *Experimentia*, 15, p. 5-7.
- LERMAN J. C. (1974). *Les isotopes du carbone : variations et abondance naturelle. Application aux corrections des datations radiocarbones, à l'étude du métabolisme végétal et aux paléoclimats*. Thèse, Paris XI, Orsay, 159 p.

- LERMAN J. C. et RAYNAL J. (1972). La teneur en isotopes stables du carbone chez les cypéracées : sa valeur taxonomique. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, 275, p. 2234-2237.
- LEROUX M. (1975). Climatologie dynamique de l'Afrique. *Trav. doc. géogr. tropicale*, CEGET-CNRS, Bordeaux, 19, p. 89-112.
- LEROUX M. (1980). *Le climat de l'Afrique tropicale*. Thèse, Dijon, 2 t., 1427 p. et Champion, Paris (1983).
- LE RUMEUR G. (1933). Les témoins d'une civilisation ancienne dans le cercle de Tahoua. *Bull. Comm. Et. Hist. et Sc. AOF*, 16, 2, p. 299-318.
- LHOTE H. (1936). La découverte de gisements néolithiques sur les confins du Sahara et du Soudan. *L'Anthropologie*, XLVI, p. 746-748.
- LHOTE H. (1950). Contribution à l'étude du Néolithique au Sahara. *Congr. préhist. France*, XIII^e session, p. 436-445.
- LHOTE H. (1976). *Vers d'autres Tassili, nouvelles découvertes au Sahara*. Éd. Arthaud, 258 p.
- LIBBY W.F. (1952). *Radiocarbon dating*. University of Chicago Press, 124 p.
- LONG A., HENDERSHOTT R.B. et MARTIN P.S. (1983). Radiocarbon dating of fossil eggshell. *Radiocarbon*, 25, p. 533-539.
- LONG A., WILSON A.T., ERNST R.D., GORE B.H. et HARE P.E. (1989). AMS radiocarbon dating of bones at Arizona. In : A. Long et R.S. Kra (Eds), « *Proceeding of the 13th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 31, 3, p. 231-238.
- LONGIN R. (1971). New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*, 230, p. 241-242.
- LUKACS J.R., PAL J.N. et MISRA V.D. (1996). Chronology and diet in Mesolithic north India : a preliminary report of new AMS ¹⁴C dates, $\delta^{13}\text{C}$ isotope values, and their significance. *XIII Intern. Congr. of Prehistoric and Protohistoric Sciences*, Forlì, Italie, 16, p. 301-311.
- MAAS P. et MOMMERSTERG G. (1994). Une architecture fascinante. In : R.M.A. Bedaux et J.D. van der Waals (Eds), « *Djenné une ville millénaire au Mali* ». Rijkmuseum voor Volkenkunde Leiden, Martialis Leiden, Gand, 185 p.
- MAGA ISSAKA ABDOULAYE (1993). Le Néolithique de l'Azawagh oriental (Niger). Étude de quelques collections des gisements sahariens de surface. Thèse Université Paris I, 360 p.
- MAÎTRE J-P. (1971). Contribution à la préhistoire de l'Ahaggar, I : Tefedest central. *Mém. CRAPE*, Paris, AMG, 17, 225 p.
- MALEY J. (1981). Études 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.
- MARCHAIS L. et TOSTAIN S. (1989). Le Sahel ouest-africain, foyer principal de la domestication des mils pénicillaires. *Catalogue exposition Sud Sahara, Nord Sahel*, Abidjan, p. 99-101.
- MARGARITZ M., HELLER J. et VOLOKITA M. (1981). Land-air boundary environment as recorded by the ¹⁸O/¹⁶O and ¹³C/¹²C isotope ratios in the shells of land snails. *Earth Planet. Sci. Letters*, 52, p. 101-106.

- MATHIEU P. (1978). Découverte d'« oolites » ferrugineuses en stratigraphie sous le delta du Chari (Tchad). *Cah. ORSTOM série géol.*, X, 2, p. 191-203.
- MERWE van der N.J. et VOGEL J.C. (1978). ^{13}C content of human collagen as a mesure of prehistoric diet in woodland North America. *Nature*, 276, p. 815-816.
- MEYERS P. (1994). Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, 114, p. 289-302.
- MONOD T., (1932). L'Adrar Ahnet. Contribution à l'étude archéologique d'un district saharien. *Trav. et Mém. de l'Inst. d'Ethnologie*, XIX, Paris, 199 p.
- MOOK W.G. (1974). The dissolution-exchange model for dating groundwater with ^{14}C . In : *Interpretation of Environmental Isotope and Hydrochemical Data in Groundwater Hydrology*. AIEA, Vienne, p. 213-225.
- MOREL A. (1985a). *Les hauts massifs de l'Aïr (Niger) et leurs piémonts. Étude géomorphologique*. Thèse, Grenoble, 404 p. et 12 pl. photo et 1 carte h.t.
- MOREL A. (1985b). *Paléo-Climats et Paléoenvironnements de l'Azawagh (Niger nord-occidental)*. Rapport de mission, nov.-déc. 1985, Univ. Grenoble, 16 p.
- MULLER A. B. (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 Docteur ingénieur, Paris VI, 160 p.
- MUZZOLINI (1986). *L'art rupestre préhistorique des massifs centraux sahariens*. BAR Int. Series, 318, Cambridge.
- 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, p. 67-87.
- NICHOLSON S.E. (1982). *Le Sahel: présentation du climat*. CILSS et OCDE, 90 p.
- NYDAL R. et LOVSETH K. (1983). Tracing bomb ^{14}C in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 88, p. 3621-3646.
- OLSON E.A. et BROECKER W.S. (1961). Lamont natural radiocarbon measurements VII. *Radiocarbon*, 3, p. 141-175.
- OLSSON I.U. et OSADEBE E.A.N. (1974). Carbon isotope variation and fractionation corrections in ^{14}C dating. *Boreas*, 3, p. 139-146.
- OLSSON I.U., EL DAUSHY M., ADD-EL-MAGEED A.I. et KLASSON M. (1974). A comparison of different methods of pretreatment of bones. *Geologiska föreningen i Stockholm förhandlingar*, 96, p. 171-181.
- OUSSEINI I. (1986). *Étude de la répartition des formations sableuses et interprétation des dépôts éoliens dans le Liptako oriental (Rép. du Niger)*. Thèse 3^e cycle, Paris VI, 235 p.
- OZER P. et ERPICUM M. (1995). Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. *Sécheresse*, 6, 1, p. 103- 108.

- ØXNEVAD I. (1991). Sedimentology of the Taoudenni-Agorgott palaeolake. In : N. Petit-Maire (Éd.), « *Paéoenvironnements du Sahara : lacs holocènes à Taoudenni (Mali)* ». CNRS, p. 131-139.
- PARIS F. (Ed.) (1984). *Les Sépultures, du Néolithique final à l'Islam. Études Nigériennes*, 50, Paris, 233 p.
- PARIS F. (1990). Les sépultures monumentales d'Iwelen (Niger). *J. des africanistes*, 60, 1, p. 47-76.
- PARIS F. (1992). Chin Tafidet, village néolithique de l'Ighazer wan Agadez. *J. des Africanistes*, 62, 2, p. 33-53.
- PARIS F. (1995a). Essai de classification des monuments funéraires sahariens. *Bull. Soc. Préh. Fr.*, 92, 4, p. 549-553.
- PARIS F. (1995b). Le bassin de l'Azawagh, peuplement et civilisations, du Néolithique à l'arrivée de l'Islam. In : A. Marliac (Ed.), « *Milieus, sociétés et archéologies* ». ORSTOM-Karthala, p. 227-257.
- PARIS F. (1996). *Les sépultures du Sahara Nigérien du Néolithique à l'Islamisation*. Orstom éditions, collection Études et Thèses, 621 p.
- PARIS F., PERSON A., QUECHON G. et SALIEGE J-F. (1992). Les débuts de la métallurgie au Niger septentrional (Aïr, Azawagh, Ighazer et Termit). *J. des Africanistes*, 62, 2, p. 55-58.
- PARIS F., PERSON A. et SALIEGE J-F. (1993). Peuplements et environnements holocènes du bassin de l'Azawagh oriental (Niger). In : « *Vallées du Niger* ». Éditions de la Réunion des musées nationaux, Paris, p. 378-392.
- PARIS F., ROSET J-P et SALIEGE J-F. (1986). Une sépulture musulmane ancienne dans l'Aïr septentrional (Niger). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t.303, série III, p.
- PARIS F. et SALIEGE J-F. (1996). Chronologie des monuments à couloir et enclos du Niger. *XIII Intern. Congr. of Prehistoric and Protohistoric Sciences*, Forli, Italie (sous presse).
- PARK R. et EPSTEIN S. (1961). Carbon isotope fractionation during photosynthesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 21, p. 110-126.
- PEARSON G.W. (1979). Precise measurement by liquid scintillation counting. *Radiocarbon*, 21, 1, p. 1-21.
- PEARSON G. W. et STUIVER M. (1986). High calibration of the radiocarbon time scale, 500-2500 B.C. In : M. Stuiver et R.S. Kra (Eds), « *Proceedings of the 12th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 28, p. 839-842.
- PERSON A., BOCHERENS H., SALIÈGE J.-F., PARIS F., ZEITOUN V., et GÉRARD M. (1995). Early diagenetic evolution of bone phosphates : a X-ray diffractometry analysis. *J. Archaeol. Sc.*, 22, p. 211-221.
- PERSON A., BOCHERENS H., SALIÈGE J.-F., GÉRARD M., BILLIOU D. et MARIOTTI A. (1996a). Diagenetic evolution of bone phosphate from saharan archaeological sites, an experimental approach. In : « *Aspects of African Archaeology* ». 10th Congr. of the Panafrican Association for Prehistory and related studies, p. 11-22.

- PERSON A., SAOUDI N.E., SALIÈGE J.-F., AMBLARD S. et GERARD M. (1996b). Les Dhars de la Mauritanie sud-orientale : environnements refuges sahariens au Néolithique. *Préhistoire Anthropologie Méditerranéennes*, LAPMO-Université de Provence-CNRS, 5, p. 119-134.
- PETIT-MAIRE N. ET KRÔPELIN (1991). Les climats holocènes du Sahara le long du Tropique du Cancer. In : N. PETIT-MAIRE (Ed.), *Paléoenvironnements du Sahara - Lacs holocènes à Taoudenni (Mali)*. CNRS, p. 205-210.
- PETIT-MAIRE N. et RISER J. (1981). Holocene lake deposits and palaeoenvironments in northeastern Mali. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 35, p. 45-61.
- PETIT-MAIRE N. et ZHENG TANG GUO (1996). Mise en évidence de variations climatiques holocènes rapides, en phase dans les déserts actuels de Chine et du Nord de l'Afrique. *C. R. Acad. Sci.*, 322, p. 847-851.
- PLICHT J. van der et MOOK W.G. (1989). Calibration of radiocarbon ages by computer. In : A. Long et R. Kra (Eds), « *Proceedings of the 13th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 31, 3, p. 805-816.
- POYART C.F., FREMINET A. et BURSEAU E. (1975). The exchange of bone CO₂ in vivo. *Respiratory Physiology*, 25, p. 101-107.
- QUECHON G. (1995). La fin du Néolithique et les débuts de la métallurgie dans le massif de Termit (Niger) : éléments de méthodologie. In : A. Marliac (Éd) « *Milieus, sociétés et archéologies* ». ORSTOM-Karthala, p. 303-312.
- RADIER H. (1957). *Contribution à l'étude géologique du Soudan oriental (AOF)*. Thèse, Strasbourg et *Bull. Dir. Mines AOF*, 1959, 26, 2 vol., 556 p.
- RAIMBAULT M. (1996). L'impact de la dégradation climatique holocène sur les Néolithiques du Sahara malien et les données du faciès sahélien de Kobadi. *Préhistoire Anthropologie Méditerranéennes*, LAPMO-Université de Provence-CNRS, 5, p. 135-151.
- RALPH E. K. (1959). University of Pennsylvania radiocarbon dates, 3. *Am. J. Sci., Radiocarbon Suppl.*, 1, p. 45-50.
- REA D.K. et COLMAN S.M. (1995). Radiocarbon ages of pre-bomb clams and the hard-water effect in lakes Michigan and Huron. *J. Paleolimnology*, 14, p. 89-91.
- REYGASSE M., (1940). Fouilles de monuments funéraires de types Chouchet en relation avec le tombeau de Tin Hinan (Abelassa, Hoggar). In : *Mélanges Doumergue*, Oran.
- RICHER P., BOTTINGA Y. et JAVOY M. (1977). A review of hydrogen, carbon, nitrogen, oxygen, sulphur, and chlorine stable isotope fractionation among gaseous molecules. *Ann. Rev. Earth Planetary Sci.*, 5, p. 65-110.
- RIOU C. (1975). La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale. *Mém. ORSTOM*, 80, 236 p.
- RISER J., HILLAIRE-MARCEL C. et ROGNON P. (1983). Les phases lacustres holocènes. In : N. Petit-Maire et J. Riser (Éds), « *Sahara ou Sahel ? Quaternaire récent du bassin de Taoudenni (Mali)* ». CNRS, Marseille, p. 65-86.
- ROBERTSHAW P. (1992). Radiocarbon dating and the prehistory of sub-saharan Africa. In : R.E. Taylor, A. Long et R.S. Kra (Eds), « *Radiocarbon after four decades. An interdisciplinary perspective* ». Springer-Verlag, p. 310-323.

- ROSET J.-P. (1983). Nouvelles données sur le problème de la néolithisation du Sahara méridional. *Cah. Orstom, sér. Sci. Hum.*, XIII, 2, p. 119-142.
- ROSET J.-P. (1984). Iwelen, un site archéologique de l'époque des chars dans l'Aïr septentrional, au Niger. *Colloque Libya Antiqua*, Paris, Unesco.
- ROSET J.-P. (1987). Néolithisation, Néolithique et post-Néolithique au Niger nord-occidental. *Bull. AFEQ*, 4, p. 203-214.
- ROSET J.-P. (1995). L'occupation humaine de l'Aïr et du Ténéré, au Niger, depuis 10000 BP. In : A. Marliac (Ed) « *Milieus, sociétés et archéologies* ». ORSTOM-Karthala, p. 161-196.
- ROWANSKI K., GOSLAR T., DULINSKI M., KUC T., PAZDUR M.F. et WALANUS A. (1992). The late Glacial-Holocene transition in Central Europe derived from isotope studies of laminated sediments from Lake Gosciarz (central Poland). In : E. Bard et W.S. Broecker (Eds), « *The last Deglaciation: Absolute and Radiocarbon Chronology* ». NATO ASI Series I, 2, Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, p. 69-80.
- SALIÈGE J.-F. et FONTES J.-Ch. (1984). Essai de détermination expérimentale du fractionnement des isotopes ^{13}C et ^{14}C au cours de processus naturels. *Intern. Journal of applied radiation and isotopes*, 35, 1, p. 55-62.
- SALIÈGE J.-F. et PERSON A. (1991a). Matière organique des céramiques archéologiques et datation par la méthode du carbone 14. In : M. Raimbault et K. Sanogo (Eds), « *Recherches archéologiques au Mali* ». Karthala, Paris, p. 413-448.
- SALIÈGE J.-F. et PERSON A. (1991b). Pâtes, dégraissants et chronologie : contribution analytique à l'étude des céramiques d'Azelik. In : S. Bernus et P. Cressier (Eds), « *La région d'In Gall - Teggida n'Tessemt (Niger). Programme archéologique d'urgence (1977-1981), IV : Azelik-Takkada et l'implantation sédentaire médiévale* ». *Études Nigériennes*, 51, p. 89-121.
- SALIÈGE J.-F. et PERSON A. (1994). Sur la datation des céramiques archéologiques de l'Afrique de l'Ouest par la méthode du carbone 14, influence des paléotechnologies. In : « *L'objet archéologique africain et son devenir* ». Colloque CNRS-UNESCO, Paris, p. 155-179.
- SALIÈGE J.-F., PERSON A. et PARIS F. (1995). Preservation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ original ratio and ^{14}C dating of the mineral fraction of human bones from Saharan tombs, Niger. *J. Archaeol. Sci.*, 22, p. 301-312.
- SCHOENINGER M.J. et DeNIRO M.J. (1982). Carbon ratios of apatite from fossil bone cannot be used to reconstruct diets of animals. *Nature*, 297, p. 577-578.
- SCHOENINGER M.J. et DeNIRO M.J. (1983). Reply to carbon isotope ratios of bone apatite and animal diet reconstruction. *Nature*, 301, p. 178.
- SCHOENINGER M.J. et DeNIRO M.J. (1984). Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, p. 625-639.
- SCHWARTZ D., MARIOTTI A., LANFRANCHI R. et GUILLET B. (1986). $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of soil organic matter as indicator of vegetation changes in the Congo. *Geoderma*, 39, p. 97-103.

- SERVANT M. (1973). Séquences continentales et variations climatiques : Évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. Thèse, Paris VI et *Trav. doc. ORSTOM*, 1983, 159, 573 p.
- SMITH A.B. (1980a). Domesticated cattle in the Sahara and their introduction into West Africa. In : M.A.J. et WILLIAMS et H. FAURE (Eds). « *The Sahara and the Nile* », Balkema, p. 484-501.
- SMITH A.B. (1980b). The Neolithic tradition in the Sahara. In : M.A.J. et WILLIAMS et H. FAURE (Eds). « *The Sahara and the Nile* ». Balkema, p. 451-465.
- SMITH A. B. (1993). New approaches to Saharan rock art of the Bovidian Period. In : *Environmental change and Human culture in the Nile Basin and Northern Africa until the second millennium B.C.*, Poznan Arch. Mus., p. 77-89.
- STAFFORD T.W., DUHAMEL R.C., HAYNES C.V. et BRENDDEL K. (1982). The isolation of proline and hydroxyproline from fossil bone. *Life Science*, 31, p. 931-938.
- STAFFORD T.W., JULL A.J.T., BRENDDEL K., DUHAMEL R.C. et DONAHUE D. (1987). Study of bone dating accuracy at the university of Arizona NSF accelerator facility for radioisotope analysis. *Radiocarbon*, 29, 1, p. 24-44.
- STEIN R. et SARNTHEIN M. (1984). Late Neogene events of atmospheric and oceanic circulation offshore northwest Africa : high-resolution record from deep-sea sediments. *Palaeoecology of Africa*, 16, p. 9-36.
- STREET-PERROTT F.A. et PERROTT R.A. (1990). Abrupt climate fluctuations in the tropics : the influence of Atlantic ocean circulation. *Nature*, 343, p. 607-612.
- STUIVER M. et KRA R. (1986). Calibration issue. In : M. Stuiver et R.S. Kra (Eds), « *Proceedings of the 12th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 28, 2B, p. 805-1030.
- STUIVER M. et PEARSON G. W. (1986). High calibration of the radiocarbon time scale, A.D. 1950-500 B.C. In : M. Stuiver et R.S. Kra (Eds), « *Proceedings of the 12th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 28, p. 805-838.
- STUIVER M. et PEARSON G.W. (1993a). High precision bidecadal calibration of the radiocarbon time scale A.D. 1950-500 B.C. and 2500-6000 B.C. *Radiocarbon*, 35, 1, p. 1-23.
- STUIVER M. et PEARSON G.W. (1993b). Calibration of the radiocarbon time scale 2500-5000 B.C. In : R.E. Taylor, A. Long et R.S. Kra (Eds), « *Radiocarbon after four decades. An interdisciplinary perspective* ». Springer-Verlag, p. 19-33.
- STUIVER M. et POLACH H.A. (1977). Discussion reporting of ¹⁴C data. *Radiocarbon*, 19, 3, p. 355-363.
- STUIVER M. et RAIMER P.J. (1986). A computer program for radiocarbon age calculation. In: M. Stuiver et R.S. Kra (Eds), « *Proceedings of the 12th International ¹⁴C Conference* ». *Radiocarbon*, 28, 2B, p. 1022-1030.
- STUIVER M. et RAIMER P.J. (1993). Extended ¹⁴C data base and revised calib 3.0 ¹⁴C age calibration program. *Radiocarbon*, 35, 1, p. 215-230.

- SULLIVAN C.H. et KRUEGER H. W. (1981). Carbon isotope analysis of separate chemical phases in modern and fossil bone. *Nature*, 292, p. 335-335.
- SULLIVAN C.H. et KRUEGER H. W. (1983). Carbon isotope ratios of bones apatite and animal diet reconstruction. *Nature*, 301, p. 177-178.
- TALBOT M. R. et KELTS K. (1986). Primary and diagenetic carbonates in the anoxic sediments of lake Bosumtwi, Ghana. *Geology*, 14, p. 912-916.
- TEHET 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.*, 311, p. 253-258.
- TUROSS N., FOGEL M.L., et HARE P.E. (1988). Variability in the preservation of the isotopic composition of collagen from fossil bone. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 18, p. 81-93.
- T.I.R.I. (1997). Report on third international radiocarbon intercomparaison. M. Scott, G. Cook et D. Harkness, scientific secretary, Glasgow, juillet 1997.
- URVOY Y. (1942). Les bassins du Niger. *Mém. IFAN*, 4, 140 p., 6 pl. et 4 cartes h.t.
- VERNET R. et AUMASSIP G. (1992). *Le Sahara et ses marges. Paléoenvironnements et occupation humaine à l'Holocène. Inventaire des datations ¹⁴C jusqu'à 1989*. Université de Niamey-CNRS, 107 p.
- VRIES H. de (1958). Variation in the concentration of radiocarbon with time and location on earth. *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, B, 61, p. 94-102.
- VRIES H. de (1959). Measurement and use of natural radiocarbon. In : P.H. Abelson (Ed), « *Researches in geochemistry* ». John Wiley & Sons, New York, p.169-189.
- VRIES H. de et BARENDSEN G.W. (1954). Measurements of age by the carbon-14 technique. *Nature*, 174, p. 1138-1141.
- WANG Y. et CERLING T.E. (1994). A model of fossil tooth and bone diagenesis: implications for paleodiet reconstruction from stable isotopes. *Palaeogeogr., Palaeoclim. Palaeoecol.*, 107, p. 281-289.
- WENDORF F. (1992). The impact of radiocarbon dating on north african archaeology. In : R.E. Taylor, A. Long et R.S. Kra (Eds), « *Radiocarbon after four decades. An interdisciplinary perspective* ». Springer-Verlag, p. 310-323.
- WRIGHT L.E. et SCHWARCZ P. (1996). Infrared and isotopic evidence for diagenesis of bone apatite at Dos Pilas Guatemala: Palaeodietary implications. *J. of Archaeological Sci.*, 23, p. 933-944.
- ZOUARI K. (1987). *Géochimie et sédimentologie des dépôts continentaux d'origine aquatique du Quaternaire supérieur du Sud-Tunisien : interprétations paléohydrologiques et paléoclimatologiques*. Thèse, Paris XI, Orsay, 216 p.

**Annexe 1: DATATIONS PAR LA MÉTHODE DU CARBONE 14
RELATIVES À L'ENVIRONNEMENT**

| Toponyme | Réf. site | LAT. | LON. | Réf. Labo. | Nature | Age ¹⁴ C BP | δ ¹³ C ‰ PDB | δ ¹⁸ O ‰ PDB |
|---------------|-----------|---------|---------|------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| AWZERKAT | WZRKT.1 | 17°15'N | 05°32'E | Pa 0363 | Coquille | 4585 ± 120 | — | — |
| CHILEGARD | CHLGR.1 | 17°42'N | 05°29'E | Pa 0369 | <i>Caelatura</i> | 4555 ± 80 | 2.10 | -3.90 |
| GAWANE | GWN | 16°30'N | 05°46'E | Pa 0367 | Coquille | 4100 ± 70 | — | — |
| MENTES | MNTS Nord | 16°58'N | 04°18'E | Or 1660 | <i>Caelatura</i> | 5220 ± 180 | 2.19 | -4.14 |
| MENTES | MNTS .05 | 16°59'N | 04°18'E | Pa 1434 | <i>Caelatura sp.</i> | 5225 ± 80 | 2.3 | -4.00 |
| MENTES | MNTS .20 | 16°58'N | 04°19'E | Pa 1572 | <i>Mutela sp.</i> | 7725 ± 80 | -0.84 | -3.40 |
| MENTES | MNTS .20 | 16°58'N | 04°19'E | Pa 1573 | <i>Melanoïdes tuber.</i> | 4765 ± 80 | 1.56 | -3.20 |
| MENTES | MNTS .20 | 16°58'N | 04°19'E | Pa 1575 | <i>Caelatura lacoini</i> | 7160 ± 80 | -2.12 | -3.10 |
| MENTES | MNTS .21 | 16°57'N | 04°21'E | Or 2638 | Lumachelle | 6760 ± 170 | -4.55 | -3.50 |
| MENTES | MNTS .21 | 16°57'N | 04°21'E | Or 1764 | Lumachelle | 8320 ± 240 | -1.26 | -2.93 |
| MENTES | MNTS .21 | 16°57'N | 04°21'E | Or 2552 | Lumachelle | 4440 ± 220 | 3.68 | -2.52 |
| MENTES | MNTS 15 | 17°N | 04°19'E | Pa 1611 | <i>Caelatura lacoini</i> | 6810 ± 100 | 1.60 | -2.90 |
| MENTES | MNTS 04 | 16°59'N | 04°18'E | Pa 1610 | <i>Caelatura lacoini</i> | 6120 ± 120 | 0.83 | -4.00 |
| MENTES | MNTS 07b | 17°01'N | 04°19'E | Pa 1625 | <i>Melanoïdes tuber.</i> | 5390 ± 60 | 1.09 | -3.60 |
| TAKENE BAWAT | TKNBW | 17°33'N | 04°44'E | Pa 925 | Grésification | 8345 ± 85 | — | — |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.2 | 17°33'N | 04°44'E | Pa 0311 | <i>Limicolaria sp.</i> | 6310 ± 110 | -10.2 | -8.80 |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.2 | 17°33'N | 04°44'E | Pa 0304 | <i>Melanoïdes tuber.</i> | 7775 ± 110 | -4.57 | -3.40 |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.2 | 17°33'N | 04°44'E | Pa 0300 | <i>Limicolaria sp.</i> | 6065 ± 90 | -10.80 | -8.70 |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.2 | 17°33'N | 04°44'E | Pa 0302 | Induration carbonatée | 5000 ± 150 | -3.30 | -8.60 |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.4 | 17°34'N | 04°45'E | Pa 0437 | <i>Caelatura</i> | 4965 ± 80 | 0.33 | -3.20 |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.6 | 17°35'N | 04°49'E | Pa 0574 | <i>Caelatura</i> | 5845 ± 200 | 0.50 | -3.30 |
| TAMAYA MELLET | TMY .3 | 17°36'N | 05°24'E | Pa 0306 | <i>Caelatura</i> | 5895 ± 90 | -1.31 | -6.90 |
| TAMAYA MELLET | TMY .3 | 17°36'N | 05°24'E | Pa 0373 | <i>Limicolaria sp.</i> | 5060 ± 100 | -6.13 | -4.80 |
| TAMAYA MELLET | TMY .3 | 17°36'N | 05°24'E | Pa 0436 | Induration carbonatée | 4210 ± 110 | -2.30 | -2.20 |
| TAMAYA MELLET | TMY .4 | 17°34'N | 05°24'E | Pa 1580 | <i>Limicolaria sp.</i> | 7070 ± 120 | -6.45 | -7.70 |
| TAMAYA MELLET | TMY .4 | 17°34'N | 05°24'E | Pa 0366 | <i>Unio</i> | 4155 ± 80 | — | — |
| TAMAYA MELLET | TMY N.1 | 17°36'N | 05°25'E | Pa 0428 | <i>Limicolaria sp.</i> | 3600 ± 60 | -7.30 | -4.60 |

| | | | | | | | | |
|------------|-----------|---------|---------|---------|--------------------------|-------------|-------|-------|
| TARADA C | TRD .Ca | 15°58'N | 04°52'E | Or 1711 | Sédiment carbonaté | 5115 ± 160 | — | — |
| TARADA C | TRD .Cb | 15°58'N | 04°52'E | Or 1714 | Sédiment carbonaté | 5360 ± 140 | -9.83 | -6.15 |
| TARADA C | TRD .Cs | 15°58'N | 04°52'E | Or 1751 | <i>Melanoïdes tuber.</i> | 3950 ± 120 | 4.11 | -0.48 |
| TARADA T | TRD .T | 15°58'N | 04°52'E | Or 1750 | <i>Mutela sp.</i> | 9025 ± 150 | -3.43 | -2.90 |
| TARWADA | TRDW | 14°35'N | 05°45'E | Or 2620 | Concretion | 10980 ± 180 | -7.25 | -8.69 |
| TASARA | TSR .I | 16°55'N | 05°36'E | Pa 0368 | <i>Caelatura</i> | 4150 ± 80 | — | — |
| TIN KOTKON | TNKTKN .2 | 17°30'N | 05°20'E | Pa 0874 | <i>Caelatura</i> | 3970 ± 80 | — | — |
| TIN KOTKON | TNKTKN .O | 17°30'N | 05°20'E | Pa 0620 | <i>Melanoïdes sp.</i> | 8300 ± 200 | 1.31 | -2.06 |
| TIN KOTKON | TNKTKN .O | 17°30'N | 05°20'E | Pa 0890 | <i>Melanoïdes sp.</i> | 4630 ± 120 | 2.00 | -5.97 |

**Annexe 2 : DATATIONS PAR LA MÉTHODE DU CARBONE 14
RELATIVES AUX SITES ARCHÉOLOGIQUES**

| Toponyme | Réf. site | LAT. | LON. | Réf. labo. | Matériau daté | Nature | Age 14 C BP | δC13 ‰ P.D.B. | Age calibré 1 σ |
|--------------|-----------|---------|---------|------------|---------------|--------|----------------|------------------|--------------------|
| IN ARIDAL | RDL .1 | 17°42'N | 04°21'E | Pa 0309 | Test autruche | CAL | 5065 ± 100 | -8.40 | 3969 - 3766 BC |
| IN ARIDAL | RDL .1 | 17°42'N | 04°21'E | Pa 1614 | Os humain | HCA | 5010 ± 120 | -5.30 | 3946 - 3699 BC |
| IN TEDUQ | TDQ N.1 | 17°14'N | 05°38'E | Pa 1418 | Os humain | HCA | 1890 ± 40 | -4.65 | 79 - 201 AD |
| IN TEDUQ | TDQ N.1 | 17°14'N | 05°38'E | Pa 0231 | Charbon | CHB | 2810 ± 80 | -23.40 | 1034 - 843 BC |
| IN TEDUQ | TDQ N.1 | 17°14'N | 05°38'E | Pa 0299 | Os humain | MOT | 3485 ± 165 | -13.20 | 2020 - 1603 BC |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.1 | 17°37'N | 05°01'E | Pa 0233 | Charbon | CHB | 2600 ± 80 | | |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.1 | 17°37'N | 05°01'E | Pa 0471 | Charbon | CHB | 3530 ± 120 | | 2019 - 1686 BC |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.1 | 17°37'N | 05°01'E | Pa 0280 | Os brûlés | MOT | 3700 ± 150 | -20.90 | 2304 - 1883 BC |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.1 | 17°37'N | 05°01'E | Pa 0507 | Poterie | DVE | 3825 ± 100 | -12.00 | 2452 - 2138 BC |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.2 | 17°37'N | 05°01'E | Pa 0757 | Poterie | DVE | 3400 ± 120 | -12.30 | 1872 - 1525 BC |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.3 | 17°41'N | 05°03'E | Pa 1613 | Os humain | HCA | 7175 ± 250 | -5.50 | 6212 - 5743 BC |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.4 | 17°37'N | 05°05'E | Pa 1108 | Os faune | HCA | 8120 ± 250 | -1.95 | 7415 - 6714 BC |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.6 | 17°38'N | 05°00'E | Pa 1580 | Poterie | DVE | 7705 ± 120 | -14.05 | 6626 - 6379 BC |
| IN TEKEBRIN | TKBRN.6 | 17°38'N | 05°00'E | Pa 1100 | Poterie | DVE | 5095 ± 200 | -13.80 | |
| LEKDARAT | LKDRT.3 | 17°37'N | 05°17'E | Pa 0740 | Charbon | CHB | 3175 ± 200 | | |
| LEKDARAT | LKDRT.3 | 17°37'N | 05°17'E | Pa 0659 | Poterie | DVE | 4235 ± 150 | -14.00 | 3030 - 2580 BC |
| MENTES | MNTS .01 | 16°59'N | 04°18'E | Pa 1624 | Os humain | HCA | 2740 ± 100 | -6.50 | 992 - 806 BC |
| MENTES | MNTS .06 | 17°00'N | 04°18'E | Pa 0492 | Poterie | MOT | 4610 ± 180 | -22.00 | |
| MENTES | MNTS .07 | 17°00'N | 04°18'E | Pa 0576 | Poterie | MOT | 4080 ± 250 | -18.60 | |
| MENTES | MNTS .13 | 17°00'N | 04°19'E | Pa 0415 | Poterie | MOT | 4590 ± 130 | -19.40 | |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.1 | 17°33'N | 04°40'E | Pa 0571 | Poterie | DVE | 6300 ± 200 | -16.25 | 5433 - 5005 BC |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.2 | 17°33'N | 04°44'E | Pa 1041 | Os humain | HCA | 5960 ± 200 | -7.65 | 5068 - 4595 BC |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.2 | 17°33'N | 04°44'E | Pa 0308 | Os humain | MOT | 6220 ± 300 | -15.40 | 5432 - 4835 BC |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.2 | 17°33'N | 04°44'E | Pa 0301 | Poterie | DVE | 5945 ± 300 | -16.70 | 5208 - 4510 BC |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.2 | 17°33'N | 04°44'E | Pa 1599 | Poterie | DVE | 6410 ± 120 | -16.70 | 5442 - 5241 BC |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.5 | 17°34'N | 04°46'E | Pa 0444 | Poterie | DVE | 2010 ± 200 | -13.25 | 352 - 238 BC |
| TAKENE BAWAT | TKNBW.6 | 17°35'N | 04°49'E | Pa 0454 | Poterie | DVE | 5880 ± 120 | -19.10 | 4904 - 4600 BC |

| | | | | | | | | | |
|---------------|----------|---------|---------|---------|-----------|-----|------------|--------|----------------|
| TAMAYA MELLET | TMY .1 | 17°35'N | 05°22'E | Pa 0410 | Charbon | CHB | 3060 ± 90 | | 1410 - 1166 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .1 | 17°35'N | 05°22'E | Pa 1052 | Os brûlés | MOT | 3860 ± 160 | | 2258 - 2041 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .1 | 17°35'N | 05°22'E | Pa 0411 | Poterie | DVE | 3060 ± 140 | -13.40 | 1491 - 1076 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .1 | 17°35'N | 05°22'E | Pa 0236 | Charbon | CHB | 8230 ± 300 | | 7532 - 6855 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .1 | 17°35'N | 05°22'E | Pa 0738 | Charbons | CHB | 3640 ± 150 | | 2197 - 1772 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .1 | 17°35'N | 05°22'E | Pa 0735 | Poterie | DS | 3735 ± 150 | -16.30 | 2393 - 1924 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .3 | 17°36'N | 05°24'E | Pa 1047 | Os humain | HCA | 4870 ± 110 | -7.65 | 3773 - 3531 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .3 | 17°36'N | 05°24'E | Pa 1042 | Os humain | HCA | 5245 ± 150 | -7.40 | 4250 - 3823 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .3 | 17°36'N | 05°24'E | Pa 1068 | Os humain | HCA | 5230 ± 100 | -7.60 | 4223 - 3956 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .3 | 17°36'N | 05°24'E | Pa 1571 | Poterie | DVE | 7550 ± 150 | -16.20 | 6469 - 6186 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .3 | 17°36'N | 05°24'E | Pa 1574 | Poterie | DVE | 7415 ± 150 | -13.50 | 6379 - 6060 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .4 | 17°34'N | 05°24'E | Pa 0685 | Poterie | DVE | 4825 ± 150 | -21.00 | 3767 - 3378 BC |
| TAMAYA MELLET | TMY .N.1 | 17°36'N | 05°25'E | Pa 1366 | Os humain | HCA | 3435 ± 100 | -5.05 | 1879 - 1618 BC |
| INUFAN | NFN 1 | 16°00'N | 04°51'E | Orsay | Charbon | CHB | 1595 ± 80 | | 400 - 560 AD |

CAL : calcite

HCA : carbonate-hydroxylapatite

CHB : charbons (les $\delta^{13}\text{C}$ des charbons, très proches de la valeur de référence de -25.0 ‰, n'ont pas été mesurés)

MOT : matière organique totale

DVE : dégraissant végétal

DS : dépôt alimentaire de surface

Annexe 3

Liste des sites attribués aux périodes néolithique (N) et post-néolithique (PN), lors d'une prospection effectuée par Yveline Poncet en novembre 1984 dans la région d'In Teduq. La numérotation est provisoire. Les nombres en gras indiquent les sites étudiés dans le livre 1.

| N° | Toponyme | Epoque | Description |
|---------------|--------------|--------|---|
| 1 et 2 | ADERANTARAT | N+PN | Sur tout le plateau monuments funéraires de divers types, en croissant, à alignements, tumulus à cratère et ordinaires, bazina. Deux tumulus en croissant ont été fouillés (DRNT 1 et 2). |
| 7 | AGABEL ouest | PN | Sur talus et plateaux bas à 2 km environ à l'Ouest de la forêt d'Agabel: grand tumulus circulaire à plate-forme et cratère. De ce point environ 25 tumulus visibles sur l'horizon proche. |
| 11 | AGABEL | PN | Entre la vallée d'Agabel et le plateau d'In Teduq, sur un replat caillouteux (structural ?), vaste ensemble de tumulus, une bazina, monuments et tombes, très rapprochés les uns des autres, occupent tout le replat. Quatre monuments fouillés (cf. TDQ N1) |
| 13 | AGABEL | PN | Tumulus multiples dont certains sur le sable. Structure de pierres sur la pente SE de la dune qui se raccorde à un plateau caillouteux (structures ou organisation naturelle ?). Nombreux tumulus et petites tombes en vue. |
| 16 | AMANZEL | N | Sur la dune rouge orientale, site néolithique. Atelier lithique, céramique érodée (par le sable ?). Sur le flanc sud de la dune, ossements et céramique éparse dont gros morceaux à décor. Tumulus sur sable entre les deux dunes, tumulus multiples sur le petit plateau caillouteux. |
| 18 | AMANZEL | N | Sur une dune à l'entrée du kori, site néolithique et tumulus de pierres sur sable. Pierres rapportées, éclats nombreux, céramique rare. |
| 19 | AMANZEL | N | Site néolithique sur versant SE de la dune; céramique, outillage lithique, ossements verdis (cuivre ?). Canari entier cassé. Céramique grossière (ou corrodée ?). Tumulus multiples sur sables et tombes. Tumulus carré à dalles dressées. Crâne humain affleurant. |
| 20 | AMANZEL | N | Sites néolithiques sur faces SE de chaque dune rouge. Tumulus sur lapiez. Quatre tombes groupées, orientées N-S. |
| 21 | AMANZEL | PN | Très grand tumulus dallé d'environ 65 mètres de circonférence et plus de 1,80 m de hauteur. Petits tas de pierres autour; squelette humain affleurant au pied nord précis, quelques ossements au sommet. Tumulus visible sur crête caillouteuse proche. |
| 22 | AMANZEL | N+PN | Tombes sur rive droite du kori, site néolithique, tessons rares; la forêt commence à cet endroit. Gros tas de canaris cassés. Grand tumulus quadrangulaire à dalles dressées, tas de pierres autour, tombes et ossements humains affleurants, tessons. Stèle à l'Est et tombe à 2 stèles N-S. |
| 27 | AWZANKAT | PN | Un km à l'Est du puits: tumulus à petits tas de pierres, vieilles tombes à demi enfouies dans le sable. |
| 30 | HAIMDAT | N | Au sommet de la dune, grand site néolithique, tessons, éclats, une meule plate et une molette allongée (type "actuel"). Tas de pierres rapportées. Indices d'occupation (tessons, éclats lithiques, ossements) sur tout le sommet de la dune. |

| | | | |
|----|----------------------------|------|--|
| 32 | IN ADWI | N+PN | A deux km et demi au SSW du puits, deux tumulus sur une dune rouge et deux tombes. Site néolithique probable mais une flèche en fer et deux outils en fer; tombe en carapace de tortue en contrebas. Site néolithique sur la dune voisine, plus proche du puits. |
| 35 | IN TEDUQ NW sur la dune | N | Site néolithique présumé: canaris, ossements. Tombes, structures (?) peu distinctes, vestiges irrégulièrement épars, sur toute la dune. |
| 36 | IN TEDUQ dune ouest | N | Site néolithique au sommet et sur les replats intermédiaires; tessons, éclats. Tombes, tumulus. |
| 41 | IN TEDUQ "montagne" | PN | Tumulus sur tout le pourtour E, SE et NE du plateau, très nombreux (tumulus et bazinas). |
| 47 | KELBAB | PN | A deux kilomètres au sud-ouest du puits, trois tumulus sur une dune. |
| 50 | TAILAMET puisards | N+PN | Vaste site néolithique ou/et post-néolithique: céramique, éclats lithiques, fer. Tumulus probable détruit ? |
| 51 | TAILAMET dunes | N | Site néolithique dans un bas-fond: céramique abondante, ossements, débris de cuisine, industrie lithique. |
| 53 | TAILAMET | PN | Tumulus, tombes, structures de dalles dressées sur les tumulus. |
| 56 | TAILAMET | PN | Petit tumulus en sommet de dune, accompagné d'un cercle de pierres. |
| 57 | TAILAMET | PN | Sur une crête caillouteuse à peine visible, nombreux tumulus, quelques tombes, une grande structure complexe. |
| 59 | TAKARAI KARA nord | PN | Structure à dalles dressées, tas de pierres circulaire à côté; tumulus à cratère à dalles plates, grand tumulus circulaire plat, petits tumulus à proximité. Tumulus tout le long de la corniche. |
| 60 | TAKARAI KARA | PN | Tumulus en corniche. |
| 62 | TAKARAI KARA | PN | Grande tombe à grandes dalles sur sable. Tumulus et bazinas sur les niveaux inférieur et supérieur du rebord de plateau, nombreux et rapprochés. |
| 63 | TAKUS | PN | Petit tumulus à dalles plates, un tumulus en haut de la dune. |
| 64 | TAKUS | PN+M | Structure carrée, de petites dimensions. Tumulus sur toute la bordure sud de la dépression. Une autre structure un peu plus à l'Est, puis trois tombes isolées les unes des autres. |
| 75 | TINDE | PN | Nombreux tumulus de petite taille en bordure des escarpements des deux côtés de la vallée encaissée. |
| 76 | TINDE | N+PN | Sur une dune en rive ouest, structure carrée ensablée, remplie de petites pierres. Plusieurs structures de ce type, groupées, cinq ou six, constituent un vaste ensemble. Tumulus à cratère en haut de la dune, site de type néolithique autour; éclats lithiques, ossements. Structure carrée à double rangée, à l'Est de la dune. Nombreux tumulus sur les escarpements qui bordent la vallée. |
| 79 | TIRMA | PN | Tumulus de petite taille sur une colline caillouteuse. |



PHOTO 3 : sépultures rectangulaires (AZWK N2)



PHOTO 4 : tumulus en croissant d'In Aridal (RDL N1)



PHOTO 5 : sépulture d'In Aridal (RDL1), avant la fouille, montrant les perles en œuf d'autruche qui recouvraient le squelette.



PHOTO 6 : sépulture d'In Aridal (RDL1), après la fouille.



PHOTO 7 : buttes érodées au pied du grand cordon dunaire méridional de Takene Bawat (cf. fig. 23). Photo prise depuis la dépression de Takene Bawat. Les buttes alignées, à sommet plat, donnent l'impression d'une terrasse alluviale démantelée.



PHOTO 8 : au premier plan, on observe une butte constituée de sable beige à la base, et de sable argileux beige à ocre au sommet. Le sommet, plus induré et de texture grumeleuse, correspond à un paléosol. Il s'agit de l'ancienne zone basse d'une morphologie dunaire disparue en raison de l'érosion éolienne. Cette butte est surmontée, à gauche et au second plan, par un autre paléosol d'une autre zone interdunaire érodée.

On note l'existence d'une cuirasse ferrugineuse d'hydromorphie de type « tapis-brosse », noire, démantelée.



PHOTO 9 : paléosols gris à noirs ayant respecté les structures sédimentaires d'un ancien sable éolien (fines stratifications obliques).
On note l'existence d'une cuirasse de type « tapis-brosse » érodée.



PHOTO 10 : buttes-témoin métriques de couleur rouge à brun-rouge, correspondant à d'anciennes zones interdunaires, plus indurées, de l'erg ancien. Ces buttes affleurent dans un nappage superficiel de sable meuble beige provenant de remaniements éoliens récents. A l'arrière-plan on observe les « limons gris » dans la cuvette de Takene Bawat.



PHOTO 11 : sur un substrat composé de grès rose à ciment calcaire (photo 12), on observe une butte de sable blanc à gris dont le sommet induré est constitué par un paléosol formé dans une ancienne zone basse interdunaire. Il s'agit d'un sable argileux de texture grumeleuse (photo 13).



PHOTO 12 : grès rose à ciment calcaire présentant des cannelures d'érosion éolienne.



PHOTO 13 : paléosol (cf. photo 11).



PHOTO 14 : butte de sable argileux brun-ocre issu d'une ancienne zone interdunaire. Vers le sommet, on remarque un niveau riche en limicoles qui semblent être ici un bon repère des anciens sols humides de la période comprise entre 6300 et 6000 BP environ.



PHOTO 15 : butte constituée par un ancien paléosol sablo-argileux, gris car plus riche en carbonate. On observe également le niveau à limicolaires.



PHOTO 16 : inhumation dans un autre paléosol à carbonate (croûtes blanches sur les os).

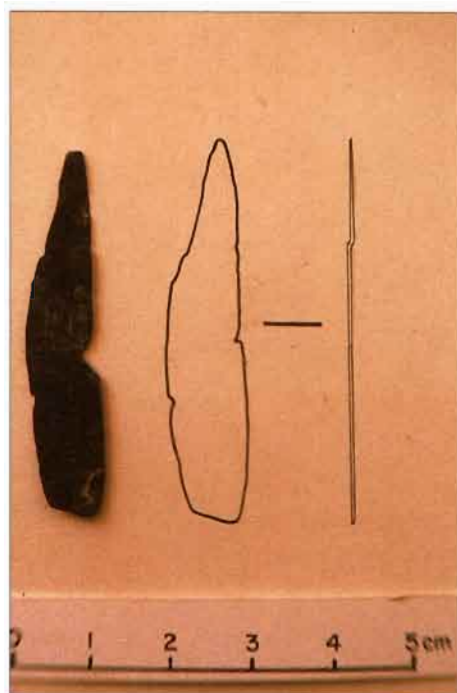


PHOTO 17 : lamelle de cuivre d'In Tekebrin (TKBRN 1)



PHOTO 18 : dépôts diatomitiques de la dépression de Tin Kotkon (TNKTKN 0)

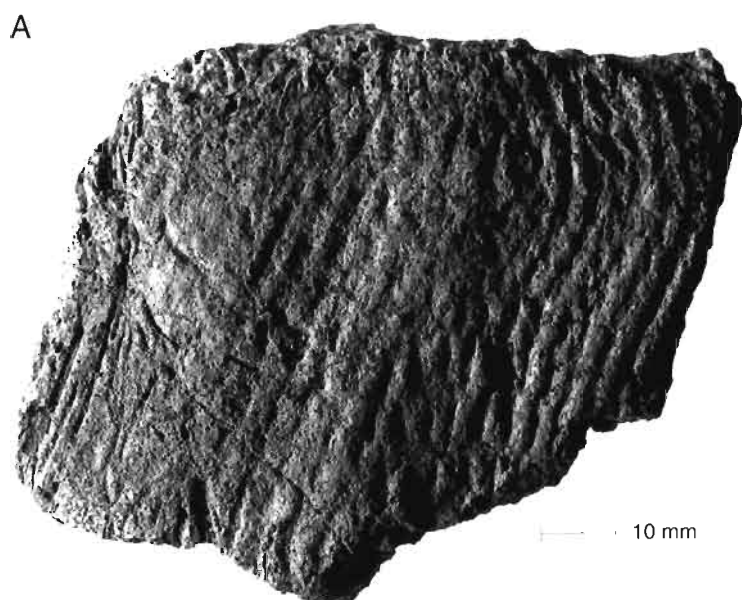


PHOTO 19 : Poterie à fibres longues de Tamaya Mellet (TMY 3)

A - Tesson avec les empreintes de fibres longues en surface.
 B - Fibres végétales isolées à l'aide d'une attaque à l'acide fluorhydrique concentré, datées de 7550 ± 150 BP.



PHOTO 20 : tumulus en croissant de Tamaya Mellet (TMY N1C1)



PHOTO 21 : sépultures rectangulaires d'In Teduq (TDQ N1)



PHOTO 22 : bazina à alignement d'In Teduq (TDQ N1.2)



PHOTO 23 : tumulus en croissant d'Aderantarat (DRNT N1.1)



PHOTOS 24-25 : compte tenu d'un pendage général vers le Sud-Ouest, on note le plus souvent une dissymétrie des paysages. Bords sud des dépressions et rives gauches des anciens réseaux hydrographiques, sont rocheux et relativement abrupts. Bords nord et rives droites sont peu élevés et très ensablés. La photo 24, ci-dessus, montre le bord sud de la cuvette de Mentès, rocheux et abrupt, constitué par une falaise crétacée montrant différents niveaux d'érosion (cf. T1 figure 17). La photo 25, ci-dessous, montre la rive droite de l'Azawagh au NW d'In Aruinat, dans la région de Tin Wada (cf. figure 23).

