Chapitre I : Synthèse bibliographique sur le paléoenvironnement et l'archivage dans le sol au Sahara.

I.1- Mise en évidence des changements environnementaux passés au Sahara

L'étude des climats passés montre que l'environnement de l'Homme a subi des variations d'une amplitude considérable (Lézine, 1993).

Il est devenu apparent que plusieurs régions désertiques sont en même temps anciennes et caractérisées par une histoire environnementale extrêmement variable (Cooke et *al.*, 1993).

Quoi qu'il en soit, c'est au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'époque actuelle que l'on identifiera de plus en plus sûrement les signes des changements de climat et, en particulier, d'une alternance entre périodes plus humides (ou moins sèches), dites « pluviaux », et périodes plus sèches, dites « interpluviaux » (Monod, 1973; Rognon, 1976a). Des séquences de ce type, identifiées d'abords au Sahara, ont été depuis retrouvées ailleurs, de l'Amérique du Nord à l'Australie en passant par l'Inde et l'Asie centrale (Monod, 1973).

I.1.1- Les formes topographiques

Il arrive souvent que les formes du paysage désertique soient plus un héritage du passé que le résultat de l'action de facteurs actuellement au travail (Monod, 1973; Rognon, 1976a; Callot *et al.*, 2000), c'est ainsi, qu'ils ont été très tôt évoquées comme preuves de phases climatiques plus humides.

En particulier les réseaux hydrographiques si denses et ramifiés du Tassili ou du Mzab avec leurs méandres à versants dissymétriques sont caractéristiques d'écoulements relativement réguliers. L'étagement des formes du relief (les glacis et les terrasses) a servi très souvent à l'établissement des premières chronologies relatives, en l'absence de datations préhistoriques ou paléontologiques (Rognon, 1976a).

I.1.2- Les dépôts

Un conglomérat fluviatile, une argile déposée dans un lac ou un marais, un sable aux grains ronds-luisants et donc façonnés par l'eau, etc., sont aussi des signes d'un passé humide (Monod, 1973).

I.1.3- Les nappes aquifères profondes

Il s'agit d'eau fossile datant de périodes plus humides qu'aujourd'hui (Gasse, 2005). Pendant les dernières décennies, la datation isotopique de ces réserves a fournit de nouvelles informations sur les périodes où il y avait une recharge ou non de ces aquifères (Rognon, 1976a; Cooke et *al.*, 1993; Zuppi et Sacchi, 2004; Guendouz et *al.*, 2003).

I.1.4- Archéologie

Les gravures rupestres sahariennes représentent fréquemment des animaux aujourd'hui disparus, Eléphants, Rhinocéros, Hippopotames, Crocodiles. Une telle abondance de bétail ne semble guère compatible avec le caractère actuel du pays (Monod, 1973).

I.1.5- La couverture végétale

Pendant les deux dernières décennies une importance massive a été donnée aux recherches sur les analyses polliniques dans le dernier quaternaire qui s'est avérée être un outil puissant non seulement pour démontrer les changements des communautés végétales à travers le temps, mais aussi sur le changement du paléoclimat (Sadori, 2005).

Cependant, Rognon (1976a), admet que le Sahara est le domaine par excellence pour le transport des poussières à cause de l'extrême sécheresse de l'air et de la constance de direction de certains vents (l'Alizé continental) (Coudé-Gaussen, 1991). De ce fait, les pollens voyagent à travers le Sahara et sont moins représentatifs de la flore locale que des directions prédominantes des vents (Rognon, 1976a).

Ce dernier admet que, d'autres vestiges de flore paraissent d'un grand intérêt et qu'on ne peut pas soupçonner d'avoir été transportés :

- Les charbons de bois dont l'étude se révèle pleine de promesses en Afrique du Nord et qui abondent dans tous les foyers préhistoriques conservés au Sahara;
- Les empreintes de feuilles dans les sédiments, découvertes, par exemple récemment dans le Quaternaire récent du Djebel Mara et parfaitement exploitables pour les reconstitutions de la flore (Rognon, 1976a).

A cela on peut ajouter la dendrochronologie; c'est ainsi que de l'absence d'anneaux de croissances dans les troncs d'arbres fossiles on conclura à l’absence de variations saisonnières au cours de la période géologique correspondante (Peguy, 1970).

I.1.6- Les anciens lacs

L'étude des variations de volume des anciens lacs est une des meilleures méthodes d'approche paléoclimatologique et paléohydrologique pour les régions continentales à travers le dernier Quaternaire (Rognon, 1976a; Callot, 1987; Gibert, 1989; Lézine, 1993; Damnati, 2000; Gasse, 2000; Hoelzmann et *al.*, 2000; Petit-Maire, 2002; Petit-Maire et *al.*, 2002) car elle permet la reconstitution plus ou moins quantitative des variations de bilan hydrologique (rapport précipitations/ évaporation) or les déserts offrent, de ce point de vue, des conditions d'études particulièrement favorables (Rognon, 1976a).

Selon Pettit-Maire (1992), dans l'ensemble du Sahara actuel, entre 9300 et 4500 ans B.P., un environnement semi-aquatique de lacs d'eau douce ou marécages et des steppes sahéliennes à graminées, peuplées par les grands mammifères vivants aujourd'hui 600 Km plus au Sud, ont remplacé le désert.

I.1.7- Les sols

Les lambeaux de sols anciens ou paléosols retrouvés dans les déserts, et dont certains conservent une structure zonale reconnaissable, ne peuvent évidemment avoir évolués en climat désertique et leur état actuel indique qu'ils sont en déséquilibre avec le climat présent (Monod, 1973; Cooke et *al.*, 1993).

Les paléosols comme les cortèges polliniques et les associations faunistiques permettent de reconstituer les paléoenvironnements et un certain nombre d'entre eux possèdent une signification stratigraphique (Fedoroff et Courty, 1987a).

I.2- Archivage dans les sols de signatures d'événements passées

Les sols ont un grand intérêt dans les reconstitutions paléoenvironnementales (Fedoroff et Courty, 1987a; Dergacheva, 1998; McCarthy et *al.*, 1998; Veit, 1998; Fedoroff et Catt, 1998; Fedoroff et Courty, 1999; Faust, 2005) surtout par les liens étroits qui les relient au climat (Rognon, 1976a). De ce fait, la reconstitution des changements climatiques passées à partir des caractéristiques des sols s'est très étendue pendant la dernière décennie (Cremaschi et Trombino, 1998; Fedoroff et Catt, 1998; Hamdi-Aïssa, 2002a, 2002b).

Les caractères pédogénétiques hérités sont très communs dans les déserts. La diversité et la grande abondance de ces caractères résulte selon Feddorof et courty (1999) de :

- La grande sensibilité des sols aux fluctuations climatiques, même les plus légers, dans les environnements arides et semi-aride;
- La grande abondance des horizons de sols durcis et cémentés et les assemblages tel que les calcrêtes et les gypcrêtes résistants à l'érosion, avec des traits texturaux fossilisés;
- L'abondance des dépôts éoliens dans les déserts et surtout dans leurs marges qui contiennent fréquemment des paléosols fossilisés.

La gamme des marqueurs d'événements passés dans les sols, utilisés par les pédologues (tableau I) a été considérablement élargies et diversifiées pendant les dernières années (Fedoroff et Catt, 1998), parmi ces indicateurs on peut citer :

I.2.1- Les accumulations de carbonates

Les accumulations des carbonates terrestres constituent le caractère pédogénétique le plus commun et le mieux exprimé dans les marges désertiques (Fedoroff et Courty, 1994).

Les carbonates principalement $CaCO_3$, apparaissent dans les sols désertiques par des formes variées comme les filaments, les efflorescences, les revêtements, les nodules, ou comme des imprégnations diffuses…etc. Fréquemment, les carbonates s'accumulent à une profondeur spécifique du profil, formant un horizon calcique (Singer, 1995).

La signification paléoenvironnementale des traits carbonatés a beaucoup été discutée (Fedoroff et Courty, 1987a; Hamdi-Aïssa, 2002b; Hamdi-Aïssa et *al*., 2004; Khokhlova et Kouznetsova, 2004). Les horizons calciques et pértocalciques sont de bons indicateurs des changements environnementaux passés.

Au Sahara tous les auteurs s'accordent pour considérer que les accumulations carbonatées sont héritées de périodes plus humides (Dutil, 1971; Rognon et Miskovsky, 1987; Fedoroff et Courty, 1994). Se sont donc essentiellement des fluctuations entre des conditions sub-humide et semi-aride qui sont enregistrées dans ces accumulations (Fedoroff et Courty, 1989).

L'origine des carbonates dans les calcrêtes de l'Afrique du Nord et du Sahara est également un indicateur climatique (Durand, 1963; Millot et *al.*, 1977). Ainsi, les encroûtements sparitiques à microsparitiques qui résultent de la montée des nappes phréatiques, seraient donc synchrones de périodes humides (Fedoroff et Courty, 1989).

Sous des climats à fort déficit hydrique, par exemple ceux de l'Afrique du Nord, on peut constater une cumulation de ces formes tandis que leur abondance paraît décroître avec un accroissement de l’aridité (Fedoroff et Courty, 1989).

La profondeur d'apparition du premier horizon carbonaté et sa morphologie constituent d'assez bons indicateurs climatiques (Fedoroff et Courty, 1989; Singer, 1995). Ainsi, les sols à horizons supérieurs libres de carbonates passant graduellement à un horizon à nodules calcaires ne se développent et surtout ne se conservent que sous des climats sub-humides. Une mosaïque de sols à horizon nodulaire en points bas et de sols à croûte zonaire sur horizon nodulaire en points hauts indique déjà une relative aridification caractérisée par un couvert végétal discontinu (Fedoroff et Courty, 1989).

D'autre part, (Wynn et Retallack, 2001) ont utilisé cette caractéristique pour l'estimation des paléoprécipitations dans les paléosols par l'utilisation d'une fonction empirique entre la profondeur de l'horizon calcique et la moyenne des précipitations annuelles.

I.2.2- Les traits gypseux

Le gypse et les sels solubles peuvent s'accumuler dans les sols dés que l'évapotranspiration devient nettement supérieure aux précipitations (Watson, 1988; Eswaran et Zi-Tong, 1991; Singer, 1995; Chen, 1997; Buck et Hoesen, 2005).

En conditions d'aridité extrême du Sahara, les eaux sont insuffisantes pour véhiculer les ions nécessaires aux grandes accumulations de gypse et de sels solubles, à l'exception des vallées, comme celles de l'oued Rhir et aussi le Souf (Fedoroff et Courty, 1989).

Plusieurs grands types d'accumulations gypseuses et salines peuvent être distinguées selon leur origine et ont chacun une signification climatique spécifique (Fedoroff et Courty, 1987a, 1989) :

- Soit dans un horizon ou plusieurs horizons situés en général dans la partie supérieure du sol; ce gypse est apporté avec les poussières éoliennes et sa position par rapport à la surface du sol correspond à la pénétration moyenne des eaux pluviales; ces variations dans les précipitations se traduisent par plusieurs horizons à gypse;
- Soit en profondeur, sous forme de gros amas cristallins; ce gypse a une origine phréatique;
- Soit dans un horizon ne contenant que du gypse, et forme alors une croûte gypseuse; celles-ci se développent à la périphérie de sebkhas couvertes de gypse et de sels solubles enlevés par la déflation éolienne et déposés sur les bordures de la cuvette endoréique; ces croûtes se sont formées de façon cyclique.

I.2.3- Les bio-marqueurs

Les sols contiennent aussi des bio-composantes diverses, comme le charbon de bois, les diatomées, les phytolites et les pollens. Leur intérêt pour des reconstructions paléoenvironnementales est actuellement bien reconnu (Dutil et *al.*, 1959; Dutil, 1971; Gibert, 1989; Gasse et *al*., 1997; Fedoroff et Catt, 1998; Gasse, 2002).

I.2.4- La néogenèse d'argile

L'illite et la smectite sont les minéraux argileux les plus communs des sols désertiques. En plus on trouve aussi la kaolinite qui est fréquemment présente dans ces sols. On peut trouver aussi la palygorskite (Singer, 1995).

La néogenèse de la palygorskite requiert des circulations d'eaux, soit de nappe phréatique, soit de drainage et il est donc exclu qu'elle puisse se former dans des conditions hyperarides telles que celles existants actuellement au Sahara. Cette néogenèse requiert des nappes phréatiques de préférence captives dans les quelles une forte évaporation concentre les ions (Millot et *al.*, 1969; Eswaran et Barzanji, 1974; Singer, 1980, 1995; Khademi et Mermut, 1999). Au Sahara la palygorskite se formerait pendant les périodes humides, préférentiellement pendant la phase d'assèchement dans les sols en bordures des paléolacs tandis que sur les marges sahariennes, se sont au contraire les périodes d'aridification qui paraissent être plus favorables à sa formation (Feddorof et Courty, 1989).

I.3- Les bassins endoréiques du Sahara (Sebkha et Dayas) et leur importance paléoécologique

La fréquence des dépressions fermées désertiques témoigne de l'importance d'un régime hydrographique endoréique, incapable d'atteindre la mer et contraint de se morceler, faute d'un débit suffisant, en une série de bassins clos (Monod, 1973)**.**

Les systèmes lacustres fermés sont considérés comme de bons indicateurs des paléoclimats (Hoelzmann et *al*., 2001). Il est apparu qu'une grande partie des lacs salés et croûtes de sel dans le monde étaient les reliques de vastes paléolacs du Quaternaire

(Risacher et Fritz, 1995). De ce fait Plusieurs études menées dans des régions sahariennes se sont intéressées à la signification paléoenvironnementale des Sebkhas (Marmier et *al*., 1972; Boyé et *al*., 1978; Callot, 1987; Gibert, 1989; Lézine, 1993; Hoelzmann et *al*., 2000, Hoelzmann et *al*., 2002). Les sols de ces paléolacs et des dépôts salins du Sahara permettent évidemment de préciser avec beaucoup de détails les fluctuations climatiques (Joly, 1989). C'est ainsi que les dépôts de sebkhas ont une grande valeur dans la détermination de la nature des changements climatiques et écologiques dans les bassins désertiques durant le Quaternaire (Cooke et *al.*, 1993).

Contrairement, les sols des Dayas n'ont pas fait l'objet de travaux importants, malgré leur importance pour l'étude des paléoenvironnements déjà signaler par (Dutil et *al*., 1959; Dutil, 1971), en étudiant les dépôts de la Daya de M'RARA, fossilisées par les apports successifs des alluvions de l'Oued R'TEM, à travers l'étude des sédiments et des spectres polliniques ce qui lui a permet de reconstituer l'évolution climatique dans la région. Cependant, récemment l'équipe pluridisciplinaire du projet de recherche DAYACLIM s'est intéressée à la reconstitution des changements climatiques à partir de l'étude des sédiments de la Daya de l'Amied (Guerrara).

I.4- Intérêt des études sur le paléoenvironnement

Ces études sur l'histoire récente des climats et des milieux naturels sahariens ne doivent pas être considérées comme des spéculations de savants a la recherche de paradis disparus (Rognon, 1976a); elles débouchent en effet sur des applications concrètes:

La compréhension des problèmes paléoclimatiques plus anciens

Tout progrès dans la compréhension de mécanismes climatiques proches de nous permet d'espérer des extrapolations à des périodes plus anciennes, comme par exemple l'interglaciaire Riss/würm ou plus loin, le Villafranchien (Rognon, 1976b).

Une plus grande précision dans l'étude des climats récents

L'étude du Sahara fait entrer dans un domaine où tout l'équilibre thermique du globe est remis en question (anticyclones dynamiques). On risque donc de déboucher sur des conclusions beaucoup plus synthétiques et d'aborder plus sérieusement les causes réelles des changements climatiques. Ainsi une meilleure connaissance des causes du décalage entre le réchauffement mondial et la reprise des pluies de mousson entre 15000 et 12000 ans B.P. aiderait à comprendre quel est le moteur principal du déclenchement d'une déglaciation (Rognon, 1976b).

Prévision des risques hydrologiques

En régions arides, les aquifères profonds sont souvent l'unique ressource en eau. Il s'agit là d'eau fossile datant de périodes plus humides qu'aujourd'hui, et souvent exploitée à un taux excédant largement le taux de recharge actuel. De ce fait, la reconstruction du passé améliore la prévision des risques hydrologiques (Gasse, 2005) et à un intérêt pour la compréhension des mécanismes de remplissage des nappes aquifères profondes lors des pluviaux (Rognon, 1976a)

Comprendre les fluctuations des paléolacs

Il faut citer également l'application possible à l'hydrologie, de l'étude très précise des variations de niveau des paléolacs de l'Afar à l'Holocène. Les bassins fermés, occupés jadis par ces lacs, sont aujourd'hui presque tous asséchés. Or lorsqu'ils étaient inondés, il existait entre eux des relations logiques qui s'expliquent par une circulation plus ou moins active des eaux à travers les basaltes fissurés (Rognon, 1976a).

Applications en pédologie

La mise en évidence des variations des climats sahariens a des applications en pédologie puisque la plupart des sols des bordures du désert ont suivi une évolution polyphasée. La connaissance des environnements successifs permettra de comprendre le développement des sols complexes du Maghreb (sols à croûtes calcaires par exemple) ou de certains sols des plateaux éthiopiens qui ne sont plus en équilibre hydrique ou climatique avec le milieu actuel. Or l'aménagement de ces sols reliques nécessite davantage de précautions que celui des sols "actuels" (Rognon, 1976a).

Aménagements et investissements

La question pratique qui préoccupe tous ceux qui ont à prévoir des aménagements au Sahara ou sur ses bordures (développer l'élevage du chameau ou des bovins? Investir dans de grands barrages? Gestion des nappes aquifères, etc…) est de connaître s'il existe une tendance générale du climat dans un sens ou un autre (Rognon, 1976a).

Tableau I : Les effets d'une aridité croissante sur les processus pédologiques et leurs relations avec les processus de morphogenèse.

	Aridité croissante →			
	Sub-humide à saison sèche	Semi aride	Aride	Extrême aride
Etats de surface	Excremental	Croûte sup. et excremental	Croûte sup.	Croûte sup. sur regs
" " **s**ubsurface	Excremental et affecté par le tassement	tendance au tassement	tassement probable	pas d'évolution
Traits texturaux	argileux microlités, dans toutes les textures	argileux à limons fin, sans litage uniquement sur sables	traits texturaux grossiers en relation avec la croûte sup.	pas de transferts internes
Retrait gonflement	très marqué	marqué	faible et colmatage des fentes par des sables éoliens	
Intensité de la bioturbation	intense mais masquée par le tassement	très marquée	décroissante avec l'aridité	
Carbonates de nappe phréatique	précipitation possible	précipitation abondante	décroissante avec l'aridité	
Aggradation des carbonates	faible à nulle	maximum	décroissante avec l'aridité	
Formation de la croûte zonaire	limitée	importante	maximum puis rapidement décroissante	
Accumulations de gypse et de sels solubles	nulle	maximum	décroissante avec l'aridité	
Aggradation des illites et des chlorites	débutante	maximum	progressivement décroissante avec l'aridité	
Néogenèse de la palygorskite	nulle	importante	maximum, puis décroissante	
Accumulations des cendres végétales	nulle	faible	maximum, puis décroissante avec l'aridité	
Intensité de l'érosion hydrique	faible	élevée	maximum, puis légèrement décroissante	
Intensité de l'érosion éolienne	nulle	augmente progressivement avec l'aridité pour devenir maximum en milieu hyperaride		

(Fedoroff et Courty, 1989).