

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE), TÉMOINS DES ÉTAPES DU COMBLEMENT D'UN BASSIN SYNTECTO-VARISQUE

Ahmed NEDJARI*, et Jean DELFAUD**

RÉSUMÉ

Dans le bassin de Béchar, un bassin d'avant fosse varisque, l'évolution deltaïque puis franchement continentale de la phase de comblement est jalonnée d'importantes modifications pédogénétiques de type hydromorphe développées sous climat à tendance aride. Dans une approche plurielle, les paléosols sont abordés dans une optique géologique d'étude et assimilés à des événements dans l'évolution du bassin, ce qui leur apportera une dimension géodynamique. Ils présentent des aspects différents en fonction de la nature de la roche mère et de la durée des phénomènes. Ces paléosols correspondent dans l'évolution du bassin à des événements qui clôturent des séquences d'échelles différentes. Une interprétation montre que les cycles de 3^o ordre sont l'expression d'un glacio-eustatisme ayant pour origine des cycles astronomiques de 400 000 ans (Berger, 1983), l'excentricité. Les cycles de 2^o ordre reproduiraient des cycles climatiques à 100 000 ans induisant des dérives climatiques à 40 000 ans liées à l'obliquité de l'axe terrestre.

Mots clefs - Béchar - Sahara - Carbonifère - Paléosols.

MOSCOVIAN AND PERMIAN PALEOSOILS IN BECHAR BASIN (ALGERIA), WITNESSES THE FILLING UP STAGES OF A SYNTECTO- VARISCAN BASIN

ABSTRACT

In the Bechar's Basin (variscan foreland basin), first deltaic, then continental filling up phase show pedogenetic modifications related to a temporary hydromorphism. Paleosoils, different in their pedogenesis intensity and spacial extension correspond to different events in basin evolution. The paleosoils end up each cycle that have generated sedimentary sequences of 2nd, 3rd and 4th order. An interpretation suggests: that cycles of 3rd order express a glacio-eustatic controls linked to astronomical cycles at 400 000 years (Berger, 1983); - cycles of 2nd order could be derived from climatic cycles with the effects of rhexistasic and biostasic periods.

Keys words - Bechar - Sahara - Carboniferous - Paleosoils.

* Institut des Sciences de la Terre, Université des Sciences et de la Technologie,
B.P. 32, El Alia Bab Ezzouar, ALGER (Algérie)

**Laboratoire de Géodynamique et Modélisation des Bassins Sédimentaires,
Université de Pau, CURS-IPRA, Avenue de l'Université, 64000 PAU (France).

- Manuscrit déposé le 31 Juillet 2000, accepté après révision le 31 Décembre 2000

I - INTRODUCTION

Les traces de pédogenèse sont fréquentes dans les assises silico-clastiques tour à tour marines puis continentales du Bassin de Béchar. Grâce à de nombreux sondages, nous disposons d'un beau matériel, très frais qui permet une typologie et une analyse fine (Nedjari, 1991).

A - Problématique

Les paléosols sont abordés dans une optique géologique. Ils sont les témoins d'événements majeurs de l'évolution du bassin. Ils permettent de saisir certains moments importants de la dynamique. Tout d'abord, une analyse approfondie, macroscopique et géochimique de chaque manifestation permet une typologie.

Ensuite, l'étude de l'enchaînement des divers types le long des 1600 m de remplissage guide la reconstitution à la fois des modifications topographiques, liées à la «régression» et de la dérive climatique.

Enfin, la répétition des sols et leur situation en sommet de séquences complète l'analyse séquentielle et montre, à plusieurs niveaux scalaires (Nedjari, 1998), des événements importants dans le remplissage, tels que ruptures de cycles climatiques et phases de ralentissement de la subsidence.

B - Cadre géologique sommaire

1 - *Le Bassin de Béchar*, situé dans le Sud-Ouest oranais, en bordure nord du craton saharien est un bassin mobile à la périphérie de la chaîne varisque, à la jonction avec la plate-forme saharienne (fig. 1A).

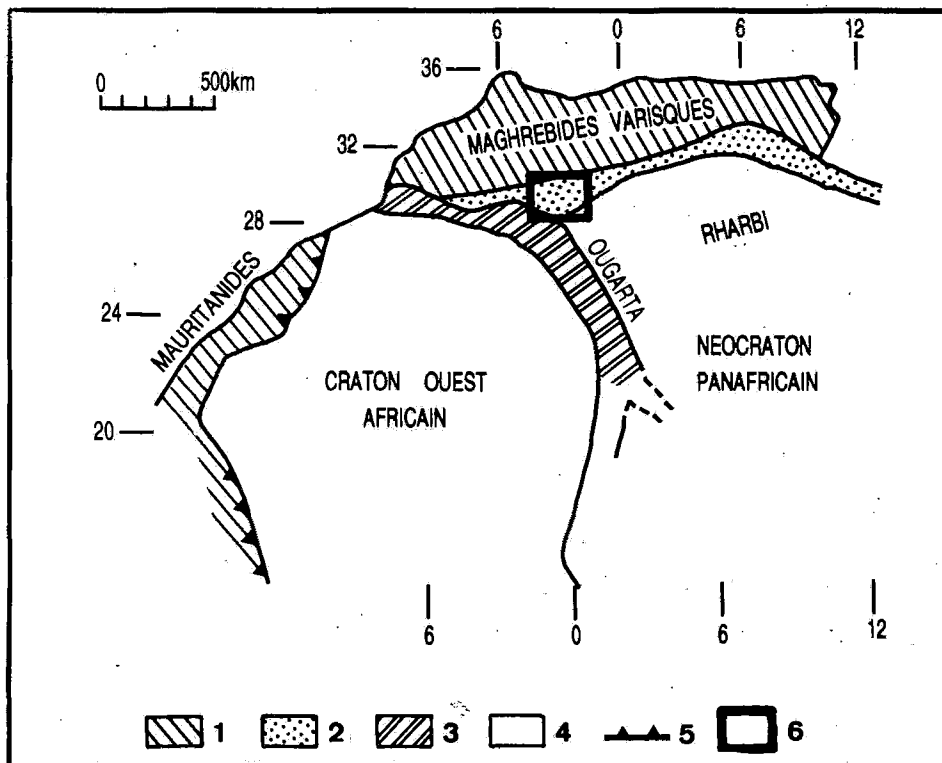


Fig. 1 A - Le bassin de Béchar et ses relations avec les éléments structuraux majeurs de l'Afrique du Nord

Bechar basin and its relations with the major geostructural elements of North Africa

1. Chaîne varisque (*Variscan chain*), 2. Avant fosse varisque (*Variscan foreland basin*), 3. Chaîne intra continentale de l'Ougarta (*Intracontinental chain of Ougarta*), 4. Craton saharien (*Saharian craton*), 5. Chevauchement (*Overthrust*), 6. Zone étudiée (*Studied zone*).

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

Très dissymétrique, il comporte un bord nord rectiligne, mobile, puis un avant-pays sud, découpé en panneaux d'orientation N40 à N160 (fig. 1B).

Ce bassin, fortement subsident, renferme une série épaisse (7 000 m) qui témoigne d'une double évolution (fig. 2) :

- un stade d'ouverture et d'approfondissement, avec le dépôt de séries turbiditiques puis récifales dans une aire triangulaire en transtension découpée en panneaux basculés,

- un stade de comblement contemporain, puis postérieur du serrage tectonique. Cette phase de sénescence se traduit par le dépôt d'un complexe

deltaïque, puis de séries rouges (Nedjari, 1995).

2 - La série de comblement. Elle s'étale du Moscovien au Permien, pratiquement sans interruption majeure. C'est une mégaséquence régressive. Elle se compose de faciès épicontinentaux, deltaïques à influences tidales, puis de dépôts continentaux : assises fluviolacustres, niveaux houillers, argiles à traces de pédogenèse, et faciès rouges de type playa. Ce matériel est le produit d'une érosion entretenue par une tectonique active, en contexte compressif (Nedjari, 1991). Les arrivées successives de matériel assez grossier sont entrecoupées par des périodes de sédimentation calme et fine qui favorisent les processus d'altération et la pédogenèse en ambiance essentiellement hydromorphe.

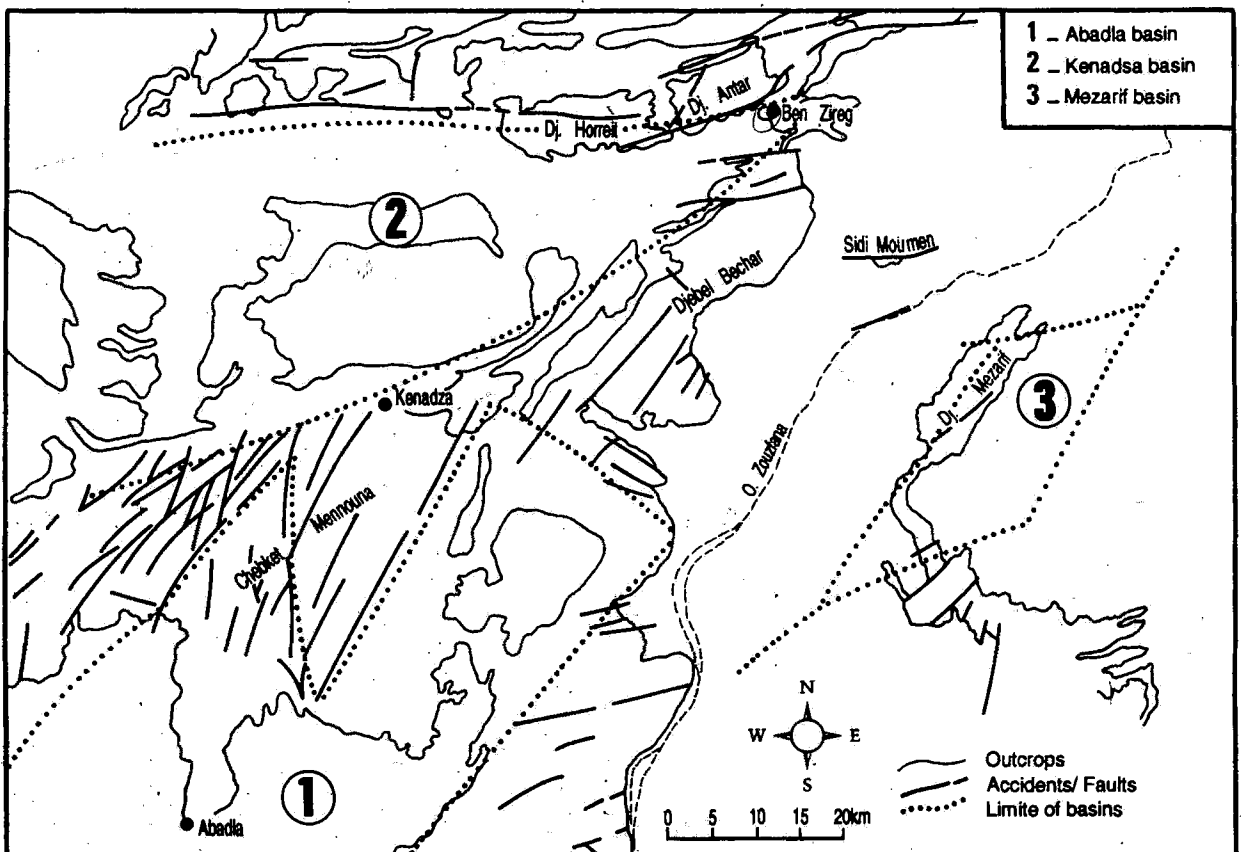


Fig. 1B - Configuration du bassin de Béchar au cours du Moscovien
Configuration of Bechar basin during Moscovian

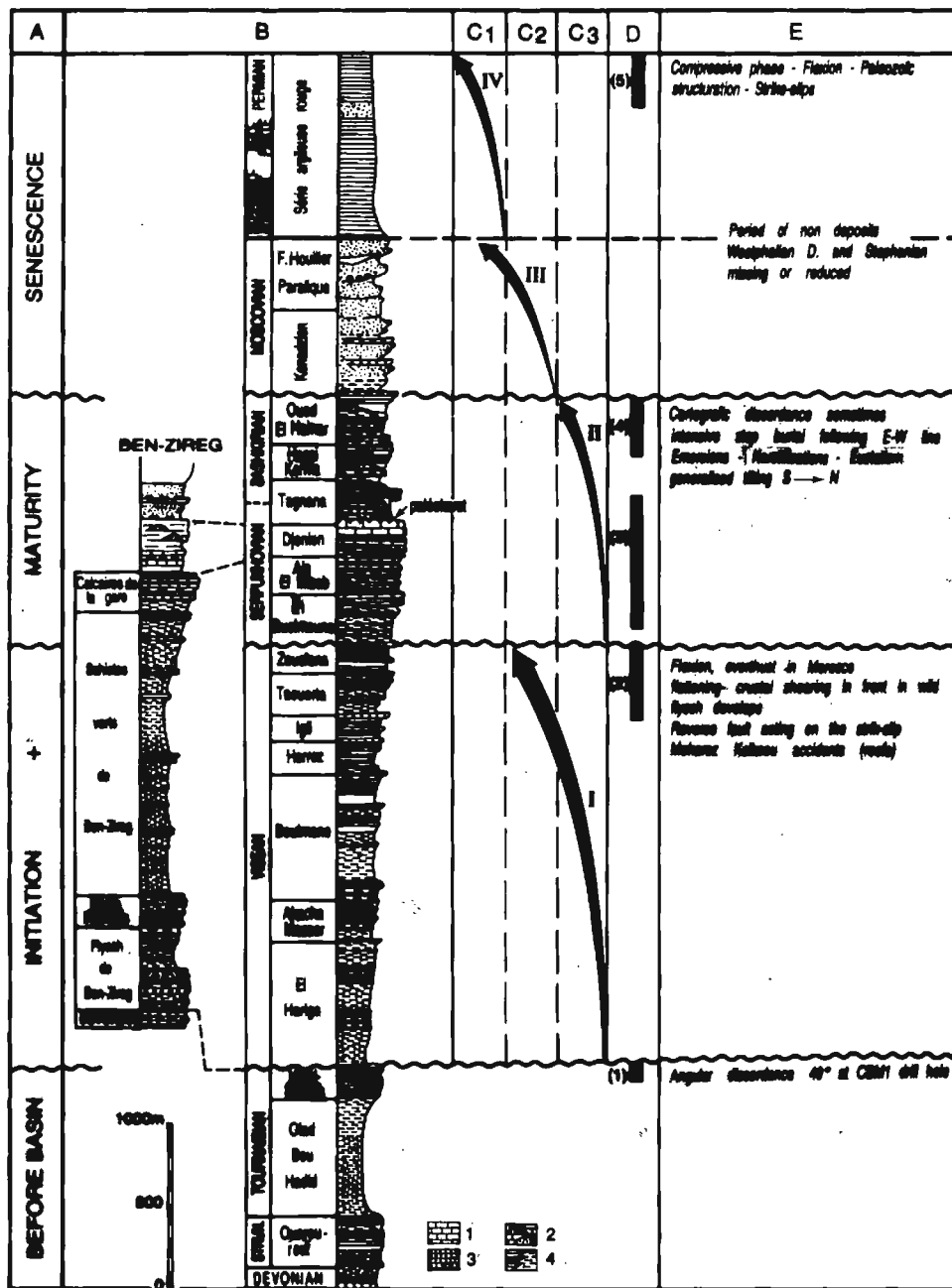


Fig. 2 - Evolution du bassin de Béchar pendant le permo-carbonifère (Lithostratigraphie synthétique d'après Pareyn et Lemosquet 1984, complétée)

*Evolution of Bechar basin during Permo-Carboniferous period
(synthetic lithostratigraphy according to Pareyn and Lemosquet, 1984, completed)*

A. Stade majeurs (*Major stages*), **B.** Lithologie (*Lithology*), 1. Calcaires (*Limestones*), 2. Recifs (*Reefs*), 3. Grès (*Sandstones*), 4. Schistes (*Shales*), **C.** Evolution mégasequentielle (*Megasequential evolution*), C1. Milieu continental (*Continental environment*), C2. Milieu tidal (*Tidal environment*), C3. Bassin (*Basin*), I, II, III, IV. Mégasequence (*Megasequences*), **D.** Activité tectonique (*Tectonic activity*), 1 à 5. Événement majeur (*Major events (1) to (5)*), **E.** Types de tectonique (*Tectonic types*).

Comme dans tous les systèmes d'avant fosse, les apports proviennent tour à tour de l'avant-pays saharien, vaste delta d'âge Serpukovien reconstitué par M. Legrand (1985) puis de la crête orogénique septentrionale en voie de surrection. Il s'installe alors un delta complexe qui prograde vers le Sud et le S-E (Nedjari, 1991) (fig. 3).

II - CADRE SEQUENTIEL

A - Principaux faciès

Au Moscovien, le complexe deltaïque est alimenté en sables et en argiles du Sud, du SW, du Nord, du NW avec probablement une extinction progressive des apports N et NW dans le temps au profit des sources méridionales. Des assises continentales (fluvio-lacustre puis playa) clôturent le cycle hercynien.

1. Le détritique

Les grès sont abondants et le bon calibre des grains suppose une érosion des formations du Paléozoïque inférieur. A ce matériel d'origine lointaine se mélangent les produits d'une érosion locale (galets de calcaire oobioclastique carbonifère, galets de croûte calcaire, ferrugineux, galets gréseux), en liaison avec la surrection des bordures du bassin. La fraction argileuse héritée (illite, kaolinite) est enrichie en kaolinite de néoformation au niveau des paléosols.

2. Le biochimique et le chimique

* Les faciès carbonatés

Le complexe deltaïque passe latéralement et progressivement au NE et à l'Est, à des faciès périrécifaux avant de les envoyer. Les faciès de remaniement déposés souvent sur des estrans

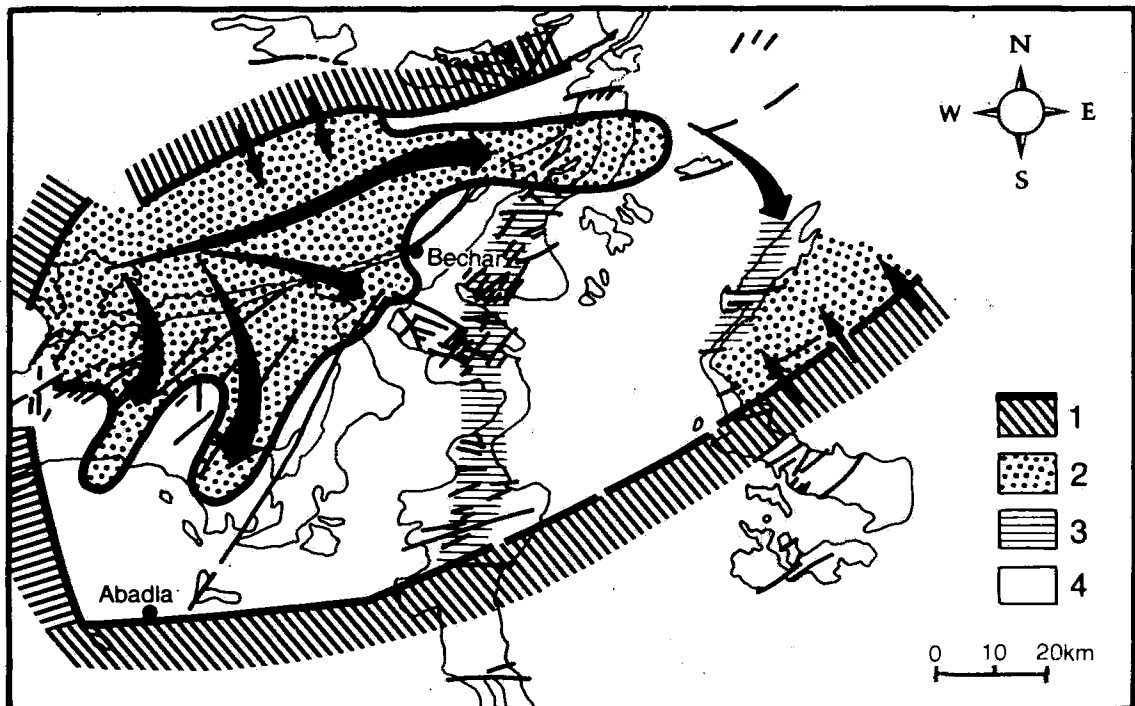


Fig. 3 - Esquisse paléogéographique au moscovien

Paleogeographic Moscovian outlines

1. Bordure (*Edges*), 2. Complexe deltaïque (*Deltaic edifice*), 3. Axe haut (*Upper axis*), 4. Plateforme carbonatée (*Carbonated platform*).

tidaux sont des calcaires à algues, fusulines et débris de polypiers.

* *La houille*

Les couches de charbon sont peu épaisses (40-50 cm). Les plus importantes se sont accumulées en milieu de plaine deltaïque et en environnement fluvio-lacustre. Partout ailleurs, le charbon figure sous forme de minces niveaux (10-15 cm) ou de galets dans les chenaux. Sa composition est à base de vitrinite (40 %) = écorce et matière ligneuse.

Ce charbon est essentiellement autochtone en relation avec des paléosols sous-jacents mais également allochtone dans le cas d'accumulation de débris végétaux flottés.

B - Organisation séquentielle

1 - *Découpage en formations*

Les grandes coupures, au nombre de trois, correspondent à des événements majeurs (fig. 4) dans l'évolution du bassin (Nedjari, 1991).

La première, à la base du remplissage, marque une nouvelle phase de subsidence rapide et l'installation d'une sédimentation deltaïque. Cette phase ne s'amortit qu'à la fin du Moscovien. Elle est précédée d'émersions, de remaniements, d'érosion de la série précédente. L'arrivée massive du matériel détritique traduit un rajeunissement des reliefs, une réactivation de la tectonique.

La seconde correspond à l'arrêt du fonctionnement du système deltaïque (fin du Moscovien). Un régime de "playa" avec un matériel fin rouge riche en gypse, structures d'intense dessiccation, lui succède. Une nouvelle phase de subsidence rapide s'amorce.

La troisième discontinuité marque l'ultime phase orogénique varisque. Compressive, elle est responsable de la structuration varisque, prélude à la précision des premières lignes de l'édifice alpin.

Des coupures de moindre importance délimitent dans la première série, quatre formations (Abadla I, II, III, IV). Chacune d'elle correspond à une étape de la progradation du delta.

2 - *Types de séquences*

La première formation (Abadla I) marque une évolution de type avant-delta. Le modèle séquentiel est des plus classiques (Klupfélien). Cette séquence à énergie croissante associe :

- des faciès de plate-forme : marnes, argiles vertes riches en faune,

- des faciès de haute énergie : calcaires peu épais oolithiques, bioclastiques. Ils sont le plus souvent bréchiques en remplissage de gouttières plus ou moins ravinantes, et passent latéralement à des faciès sableux,

- des faciès tidaux : grès fins, silts à flazers beddings, petites rides, stratifications entrecroisées, condensation de faune. Les silts occupent parfois des chenaux décimétriques, avec galets mous, galets gréseux, bioclastiques (bryozoaires, brachiopodes, foraminifères).

Ce modèle traduit un comblement de plate-forme par des faciès vaseux puis tidaux.

La seconde formation (Abadla II) - front de l'édifice deltaïque - est caractérisée par des séquences à affinité île-barrière. Strato et grano-croissantes, elles débutent par une brèche de remaniement riche en bryozoaires et lamellibranches. Les motifs intègrent :

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

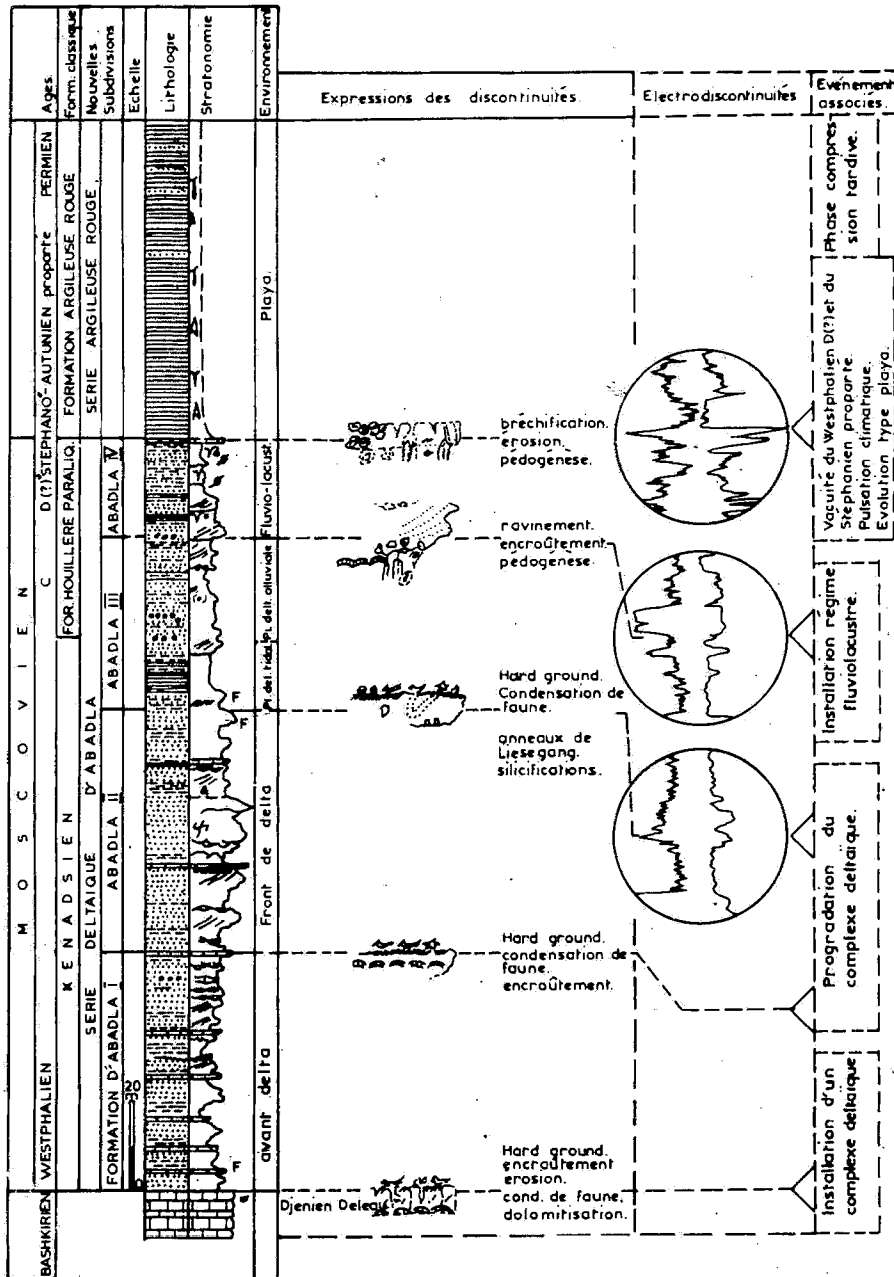


Fig. 4 -Log synthétique moscovo-permien du bassin de Béchar, avec les nouvelles subdivisions
Synthetic moscovian-permian sedimentary filling of Bechar basin, with new subdivisions.

- des faciès argileux/marneux à faune,
- des grès et des silts organisés en cordons que recoupent parfois des chenaux de marée à oolithes et bioclastes ou silteux à flasers.
- des faciès d'arrière cordons : argiles/marnes à gypse, rouges parfois, grès/silts à flasers bedding et rides d'interférence, calcaires supratidaux à ostracodes, gastéropodes, voiles algaires.

La formation Abadla III comporte deux membres. Dans le premier, plaine deltaïque tidale, la séquence montre :

- des faciès de chenaux (distributaires à remplissage silto-gréseux, chenaux de marée oobioclastiques),
- des barres d'embouchure organisées plus ou moins en petits cordons,
- des vases de plaine deltaïque, riches en matière organique, gastéropodes, ostracodes, à modifications pédogénétiques, encroûtements stromatolithiques.

Dans le second membre, les influences marines sont plus discrètes et un régime de plaine alluviale s'instaure.

Le modèle séquentiel dans la formation, Abadla IV, régime fluvio-lacustre, associe des dépôts de chenaux fluviaux (conglomérats, grès) des faciès de plaine d'inondation (silts, pélites, charbon) et parfois des calcaires lacustres, palustres à ostracodes, gastéropodes. Les modifications pédogénétiques sont abondantes en fin de motif.

Dans la seconde série, la série Argileuse Rouge, l'analyse séquentielle classique basée sur la succession des faciès et sur les discontinuités n'est pas aisée. La monotonie dans ce matériel fin rouge de type playa, est sporadiquement interrompue par :

- de rares chenaux gréseux rouges méandriformes peu épais,
- des niveaux de carbonates; calcaires à stromatolithes, écailles de poissons, oolithes, - dolomies sableuses. Ces faciès sont minces (10 à 20 cm) correspondent à des lacs éphémères, peu étendus,
- des rares niveaux charbonneux décimétriques,
- des paléosols à polyèdres (pélosols).

3 - Répartition verticale des paléosols

Le sondage Sr7 l'un des plus complets servira d'exemple. Son analyse montre que les paléosols sont toujours associés à des fins de séquences et répartis ainsi (fig. 5) :

1 - Sous forme de ferruginisations en anneaux de Liesegang, ils constituent la discontinuité terminale de la formation II. Dans cette formation de front de delta, ils se sont développés sur les faciès d'arrière-cordons terminaux des séquences de type île-barrière.

2 - Ils clôturent les séquences d'échelle moyenne (2° et de 3° ordres) des formations III (faciès de plaine deltaïque), IV (fluvio-lacustre) et sont essentiellement à marmorisations.

3 - Les paléosols de la Série Argileuse Rouge se localisent au sommet des séquences de même échelle que les précédentes. Très discrets, à simples marmorisations, ils se caractérisent par une prédominance des processus physiques (dessiccation) qui engendrent un matériel polyédrique.

4 - Fraction argileuse

Les argiles constituent la part moyenne de la sédimentation. Leur étude a été entreprise afin de mieux approcher les ambiances climatiques, les conditions topographiques qui ont présidé à cette accumulation, d'interpréter les associations

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

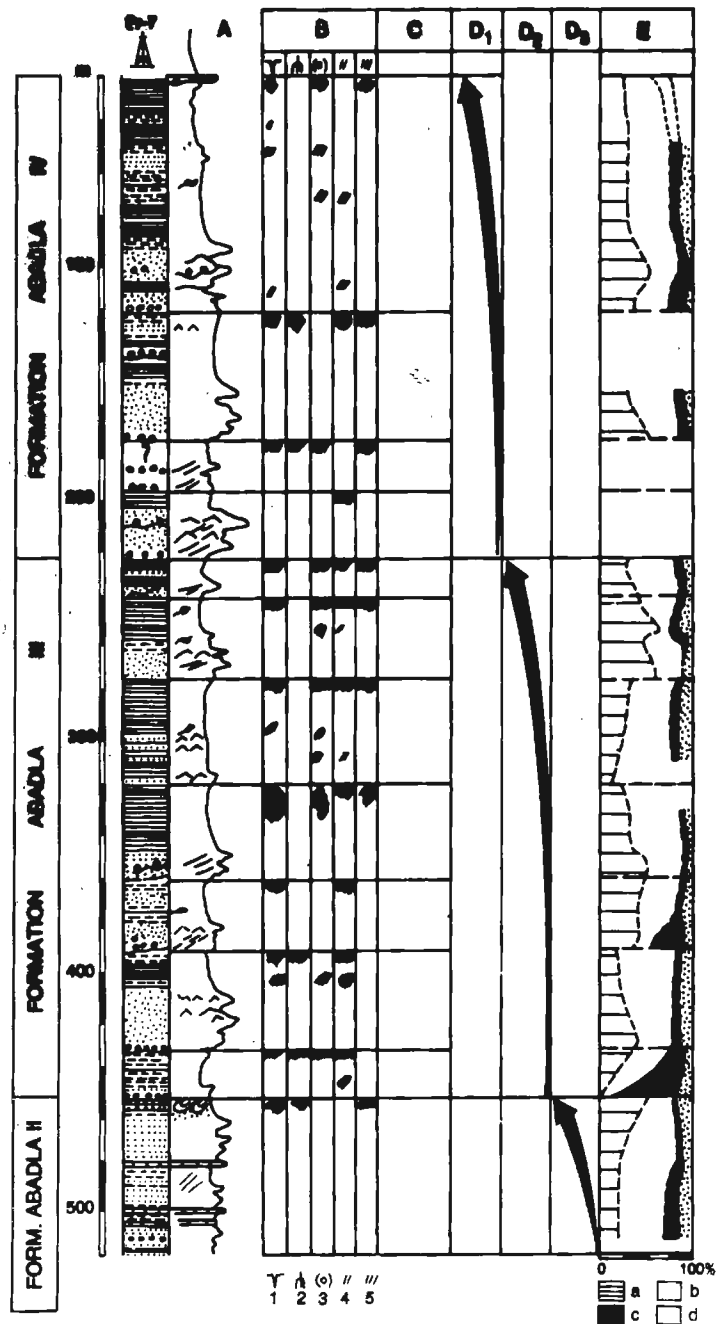


Fig. 5 - Répartition des paléosols et évolution de la fraction argileuse (sondage Sr. 7 bassin Abadla)
Paleosols repartition and evolution of the clay contents (borehole Sr. 7 Abadla basin)

A. Lithologie (*lithology*), **B.** Structure pédologiques (*Pedogenetic structures*), 1. Fentes de dessiccation (*Dessication structures*), 2. Traces de racines (*Root traits*), 3. Nodules pédologiques (*Pedogenetic nodules*), 4. Marmonisations ocres (*Ochraceous mottled facies*), 5. Marmonisations violacées (*Violet mottled facies*), **C.** Séquences (*sequences*), **E.** Fraction argileuse (*Clay contents*), a. Illite (*Illite*), b. Kaolinite (*Kaolinite*), c. Chlorite (*Chlorite*), d. Illite-smectite (*Illite-Smectite*), **D.** Environnements (*Environments*), D1. Front de delta (*Deltaic front*), D2. Plaine deltaïque (*Deltaic plaine*), D3. Fluvio lacustre (*Fluvio-lacustrine*).

argileuses et de différencier héritage, transformations,... 90 échantillons ont été analysés par diffractométrie RX*. Un échantillonnage systématique des séquences a été fait pour mieux cerner les modifications et les évolutions.

Les résultats analytiques montrent que la fraction argileuse est constituée du cortège suivant: illite (25-50 %), kaolinite (10-50 %), chlorite (10-40 %), illite-smectites (10-20 %). L'association évolue verticalement avec les environnements sédimentaires. Chaque environnement est caractérisé par la prédominance d'une ou de deux espèces minérales.

L'avant-delta et le front de delta sont caractérisés par des argiles héritées (illite-chlorite). Les environnements de plaine deltaïque et fluviolacustre associent un héritage (illite-chlorite) et les produits d'une pédogenèse: kaolinite essentiellement et illite-smectites probablement. Les faciès de playas se singularisent par un cortège argileux hérité et préservé par le caractère endoréïque de l'environnement de dépôt.

Il est étonnant que les analyses ne révèlent dans ce milieu favorable a priori, aucune néogenèse. Dans cette évolution, l'événement le plus important est la formation de kaolinite et son augmentation progressive, en plaine deltaïque et milieu fluviatile. Les pourcentages sont maximum en fin de séquences (Fig. 5) et en relation avec les paléosols temporairement hydromorphes. La kaolinite se formerait par dégradation de la chlorite et de l'illite.

5 - Climat

Au Carbonifère les modèles globaux (Irving, 1983 ; Smith, 1984) situent le bassin de Béchar à proximité d'une zone équatoriale. Le bassin connaît par la suite une dérive climatique vers un pôle plus aride. Le cortège argileux moscovien, caractérisé par une formation de kaolinite et accessoirement de smectites, indique un

climat équatorial à tropical humide (MILLOT, 1967). Au Permien, le climat ne produit plus de kaolinite, aussi un changement important, une dérive vers un pôle plus aride est à envisager. L'aridité prédomine avec des faciès de type playa.

III - DESCRIPTION DES PALEOSOLS

Dans le Bassin de Béchar, où le matériel est à dominante silico-clastique, les modifications pédologiques induites sont variées. Leurs principales expressions sont les suivantes : néostratification pédologique aboutissant à une structuration en polyèdres, marmorisations, décarbonatations, nodulisations, traces de racines, fentes de dessiccation, ferruginisations annulaires («anneaux de Liesegang»).

A. Typologie

Les modifications pédogénétiques sont ici liées à l'hydromorphie et leurs manifestations sont multiples. Les produits ferrugineux constituent des marmorisations (halos globuleux des pédologues), des nodules (associés au carbonate), une ferruginisation en anneaux. Les carbonates, plus ou moins fréquents en fonction des faciès, s'organisent en nodules de taille et structure variables (poupées des pédologues).

Ainsi, selon les modalités de cette pédogenèse, les paléosols peuvent être répartis en trois types principaux :

- 1 - les paléosols à polyèdres ou pélosols,
- 2 - les paléosols à marmorisations,
- 3 - les paléosols à ferruginisations en anneaux de Liesegang.

Ces trois types sont le produit de processus dominés par l'hydromorphie qui entraîne une modification plus ou moins importante dans la répartition des éléments et des minéraux induisant des

aspects différents en fonction de l'intensité du phénomène. Cette approche ne peut être abordée que par un bilan géochimique (Le terme de bilan n'est pas utilisé ici au sens classique. Il ne sera pas fait une quantification entre un état initial et l'état final. On insistera d'avantage sur les résultats finaux) en ce qui concerne (1) et (2) essentiellement car en (3) les processus physiques prédominent; ces aspects sont développés dans ce qui suit.

B - Les paléosols à ferruginisations en anneaux de Liesegang

1 - Localisation

Les paléosols à ferruginisations en anneaux de Liesegang affectent les faciès argilo-gréseux terminaux de la Formation III - front de delta. Cette surface constitue la discontinuité finale sur des cordons sableux portés à émergence. Elle associe des anneaux de Liesegang, des marmorisations et de la dessiccation. Un niveau de remaniement et de condensation de faune lui est sus-jacent. Le sédiment originel était un sable argileux homogène. L'aspect actuel résulte d'une répartition en anneaux provenant d'une migration des éléments chimiques. Nous allons en dresser le bilan chimique.

2 - Etude géochimique des anneaux

L'étude géochimique a été menée au MEB sur lames minces non couvertes et sur échantillons polis. Les analyses quantitatives ont été faites à l'aide d'un Spectromètre en Dispersion d'Energie Link Systems AN 10.000 monté sur un Microscope Electronique à Balayage Philips 500, au Laboratoire de Microscopie Electronique (U.A. 723), Département des Sciences de la Terre à Orsay (Paris XI). Le nombre de points d'analyse varie entre 128 x 128 points et 256 x 256 points. Les temps d'acquisition des cartes vont d'une demi-heure à huit heures ou plus. Le bruit de fond de l'échantillon a été soustrait de toutes les

cartes, ce qui augmente leur précision et les rend indépendantes dans une certaine mesure, des imperfections de surface.

a - Les échantillons choisis

Trois échantillons provenant de carottes de sondages (puits Sr7) de la profondeur 500 m ont été analysés. Un seul, le plus caractéristique, servira d'exemple.

b - Nature chimique et minéralogique des anneaux

Les cartes 1 et 2 (Pl. 1) montrent un certain nombre d'éléments répartis essentiellement en anneaux : le silicium, le fer, le calcium, l'aluminium, le phosphore, le manganèse. D'autres tels que le potassium, le titane et le sodium (non reportés ici) ont une distribution homogène qui reflète le sédiment originel.

Le sédiment initial étant un sable argileux (illite-chlorite) montre que :

- le silicium correspond au quartz détritique et aux phyllites (illite-chlorite),
- le fer est sous forme d'hématite ou de goethite,
- l'aluminium, associé au potassium, indique la présence des illites détritiques (répartition aléatoire).

Il ressort de la comparaison et de la superposition des diverses cartes que certains éléments se constituent en une même répartition déterminant des anneaux dont l'intensité augmente le plus souvent vers l'extérieur : de phosphate de calcium (phosphore et calcium), de fer (goethite, fer+manganèse), kaolinite néoformée (aluminium, silicium). Cette zonation résulte d'une migration d'éléments à partir du sédiment initial.

c - Origine des éléments

Le fer provient des illites et chlorites du sédiment (fer d'absorption ou de constitution) mais aussi du continent (en solution pour se déposer

sous forme de sulfures pyrite). Les illites et les chlorites se dégradent par ailleurs en libérant de l'aluminium et du silicium. La kaolinite se forme à partir de ces éléments. Le phosphore pourrait provenir des fougères assez abondantes au cours du Westphalien, mais également des coprolithes tandis que les divers bioclastes fournissent entre autres le calcium.

d - Mécanismes - Genèse

Les mécanismes de la genèse des anneaux de Liesegang ont été l'objet de publications multiples. Un point est fait sur les théories proposées, discuté et étayé d'observations personnelles par Arbey (1987). Un large emprunt lui est dû.

Il ressort ainsi que les véritables anneaux de Liesegang produits expérimentalement sont des précipitations périodiques qui se forment lorsqu'une solution saline concentrée - en nitrate de plomb par exemple - diffuse dans un milieu aqueux plus ou moins gélifié et contenant un autre sel comme l'iodure de potassium. Les bandes de précipités d'iodure de plomb sont parallèles à la surface du front de diffusion, sphériques ou planes suivant la forme de celui-ci. Le processus de précipitation décrit par Liesegang se rapproche du phénomène chimique.

Le milieu littoral où se développent les ferruginisations en anneaux, est électrolytique et redox avec des possibilités d'adsorption. Les bactéries et la matière organique sont à la base du système. Il passe par des états d'équilibre successifs et les battements des nappes, un des moteurs possibles, est physique et extérieur au système.

Lors des émergences, l'évaporation superficielle induit un courant capillaire ascendant à l'origine d'une précipitation superficielle de sels dissous dans les zones inférieures, Fe^{2+} et Ca en particulier. Le fer ferreux s'oxyde. Parallèlement il y a une lixiviation en toute période de la silice, de l'alumine. Les caractères continentaux s'affirmant entraînent les néogénèses (kaolinite par exemple).

Au fur et à mesure des déplacements du front d'oxydo-réduction au cours d'une émergence, seuls les minéraux stables en milieu oxydant persistent.

C - Les paléosols à marmorisations

Les paléosols à marmorisations se singularisent par une distribution du fer en tâches et flammèches centimétriques à millimétriques. Des nodules pédogénétiques, des traces de racines, de la dessiccation peuvent s'y associer. L'analyse montre que:

- les paléosols ne présentent pas tous la même extension,
- l'épaisseur de la tranche de sédiment affectée par les modifications est variable : de quelques centimètres à un mètre,
- l'intensité du phénomène pédogénèse n'est pas constante.

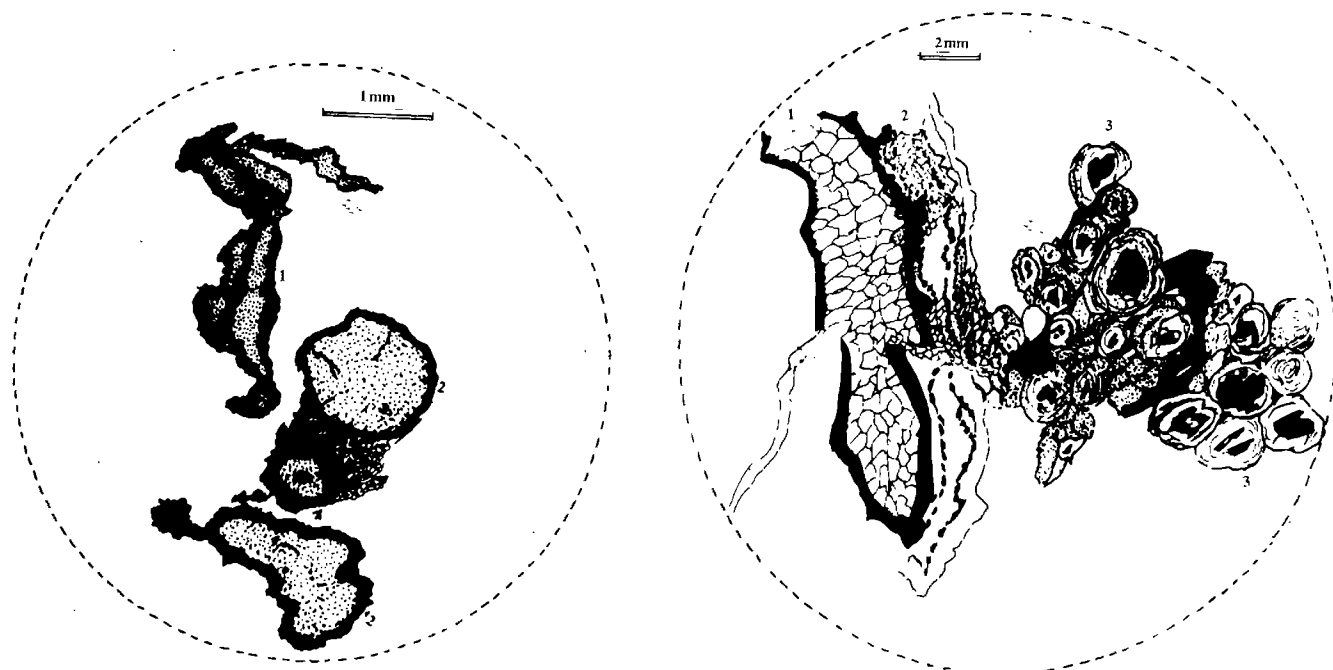
De ce fait, ces paléosols présentent deux principaux aspects :

1 - Le premier est caractérisé par des marmorisations ocres, jaunes brunes, des nodules pédogénétiques peu abondants et des traces de racines peu développées (fig. 6A).

2 - Le second associe des marmorisations violacées, des nodules pédogénétiques abondants, centimétriques, à structure complexe, des fentes de dessiccation larges, profondes avec cavités de dissolution et enchevêtrements diffus, des niveaux importants et superposés à traces de racines (fig. 6B).

Les éléments figurés montrent un polyphasage (plusieurs couches corticales de nature variée autour des nodules, et parfois même autour des traces de racines), une modification plus importante, une pédogénèse beaucoup plus poussée. Ainsi les aspects sont fonction de l'intensité : le premier peut être attribué à une pédogénèse simple, le second est lié à une pédogénèse polyphasée. Les paléosols à pédogénèse simple présentent

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)



A - Paléosol affectée par une pédogenèse simple
Paleosol affected by simple pedogenesis

B - Pédogenèse complexe (1) traces de racines
(2) et (3) nodules pédologiques
Complex pedogenesis, (1) root traits, (2) and (3) pedogenetic nodules

Fig. 6 - Aspect microscopique des paléosols
Paleosol microscopic aspects

des paramètres moindres comparés à ceux des paléosols polyphasés (extension latérale, tranche de sédiment affectée).

1 - Localisations

Les paléosols à marmorisations se développent essentiellement en fin de séquences dans les faciès argilo-gréseux de la plaine deltaïque (Formation III) et ceux de la plaine d'inondation fluviale (Formation IV). L'intensité de cette pédogenèse varie avec l'ordre des séquences. Elle est beaucoup plus intense au sommet des séquences de 3° et 4° ordres (membre et formation).

a - Les paléosols à pédogenèse simple (type 1)

Les modifications affectent une tranche de sédiment décimétrique et se retrouvent à une échelle kilométrique. Latéralement les expressions peuvent

varier. Des dépôts de chenaux marmorisés passent, par exemple, à des faciès de plaine d'inondation à traces de racines et nodules. La pédogenèse peut par ailleurs, disparaître par ravinement; il n'est pas rare de rencontrer dans les remplissages de chenaux des éléments remaniés à pédogenèses antérieures.

Les paléosols à pédogenèse simple constituent les discontinuités sommitales de séquences peu épaisses (10 à 15 m en moyenne) associant des dépôts de chenaux, des faciès de plaine et de lac parfois. La hiérarchie scalaire en fait des séquences de 2° ordre où les paléosols constituent des discontinuités d'un même ordre.

b - Les paléosols à pédogenèse polyphasée (type 2)

Les expressions d'une telle pédogenèse affectent tout le bassin sur une épaisseur de sédiment

métrique. Latéralement elles sont variables et les ravinements sont susceptibles de les faire disparaître partiellement ou en totalité. Les paléosols à pédogenèse polyphasée clôturent des cycles plus importants épais de 80 à 100 m dans l'axe principal du chenal et 20 à 30 m latéralement. Ils s'initient par un ravinement intense et intègrent en nombre variable les séquences de 2° ordre précédemment définies.

2 - Etude géochimique

Les paléosols à marmorisations sont le résultat d'une hydromorphie et les aspects différents résultent d'une redistribution des éléments majeurs. L'importance de ce phénomène est fonction de l'intensité de la pédogenèse, comme l'atteste le bilan géochimique. Deux exemples sont traités.

a - Le bilan géochimique d'une pédogenèse simple

* Localisation de l'exemple choisi

L'exemple choisi en illustration est un paléosol à marmorisations ocres, jaunes, brunes et nodulisation. Il constitue le terme final d'une séquence de 2° ordre de plaine deltaïque.

* Le sédiment initial

Le sédiment initial est une vase argilo-carbonatée plus ou moins silteuse. Les RX montrent une fraction argileuse à illite 60 %, kaolinite 20 %, smectites 10 %, chlorite 10 %. Le fer est sous forme d'hématite et de goethite.

* Analyses des cartes de répartition chimique

Les cartes de répartition chimique (Pl. 2) montrent schématiquement :

- des nodules carbonatés,
- des zones plus ou moins noduleuses avec des

travées carbonatées et qui isolent des flots de plasma argileux (Si Al, K, parfois Fe).

Ces flots sont constitués d'illite, kaolinite, chlorite, illite-smectites, quartz détritique.

Le Fe forme de petites accumulations entre les flots de plasma.

* Le bilan chimique

La pédogenèse a conduit essentiellement à une remobilisation des carbonates sous forme de nodules plus ou moins bien individualisés. Le Fe est dissocié du manganèse.

* Origine des éléments

Le calcium peut provenir des autres niveaux, par lessivage des bioclastes et des lithoclastes.

* Mécanismes

Les mécanismes sont également ceux de l'hydromorphie.

b - Etude géochimique d'une pédogenèse polyphasée

* Localisation de l'exemple choisi

L'exemple choisi provient du sondage Sf 37 (côte -700 m) et de ce fait les effets de l'altération superficielle sont négligeables. Ce paléosol présente des marmorisations violacées, des nodules pédogénétiques et des fentes de dessiccation au sommet d'une séquence de 3° ordre de type fluvio-lacustre.

* Le sédiment initial

Le sédiment initial est un limon argilo-silteux de plaine d'inondation fluviale. Une analyse au RX montre une fraction argileuse constituée de : illite (50 %), kaolinite (30 %), illite-smectites (10 %), chlorite (5 à 10 %). Le fer est sous forme de goethite et d'hématite.

* Analyses des cartes de répartition chimique
(Pl. 2)

Les cartes de répartition chimique montrent des éléments (Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ti, K, Ca); ces éléments se constituent en nodules (fer essentiellement), et un plasma (phyllites quartz détritiques). Les nodules sont caractérisés par :

- une concentration de fer,
- une auréole déferrifiée,
- une zonation plus ou moins perceptible.

L'auréole déferrifiée riche en Si, Al, phylliteuse (kaolinite) montre une certaine zonation. L'accumulation du fer est centrifuge, les éléments proviennent de la périphérie.

La zonation plus ou moins perceptible à l'intérieur des nodules associe Si, Al et parfois K en une illite. C'est la phyllite initiale qui a été plus ou moins détruite et que l'on retrouve à l'état résiduel dans les nodules de fer.

Le plasma est argilo-silteux. Le silicium correspond en partie aux quartz détritiques. Les autres éléments se combinent en : illite (Si, Al, K), kaolinite (Si, Al) et smectites (Si, Al, Mg). Par ailleurs il est à noter que le manganèse dissocié du fer par la pédogenèse forme de petites accumulations et qu'il n'y a pas de smectites dans les nodules.

* Le bilan géochimique

A partir d'un matériel argilo-silteux, la pédogenèse a conduit à :

- une accumulation du fer en nodules. Cette accumulation zonée témoigne d'un processus cyclique polyphasé. Le fer vient de l'extérieur du nodule, en partie du lessivage des argiles. Cette hydrolyse libère par ailleurs Si, Al, K, Mg (chlorite),
- une migration vers le plasma des éléments précipités libérés par hydrolyse, et où ils se réorganisent en kaolinite (Si, Al), en smectite (Si, Al, Mg), et petites accumulations de Mn.

* Origine des éléments

Le fer et le manganèse proviennent en solution des continents. L'hydrolyse des argiles libère une partie de Fe, Si, Al, Mg (chlorite). Il est à noter que les plantes peuvent fournir également du Mg et du Mn.

* Les mécanismes

Les mécanismes sont ceux de l'hydromorphie (*cf.* ferruginisations en anneaux de Liesegang) avec pour moteur, les battements de la nappe phréatique qui contrôlent les oscillations du potentiel d'oxydo-réduction. La matière organique joue un rôle essentiel dans les processus d'oxydo-réduction du fer et du manganèse.

En période de crue, le profil pédologique ennoyé, la matière organique (racines etc...) est détruite sous l'influence des bactéries qui absorbent l'oxygène disponible. Les composés ferriques sont réduits et peuvent migrer.

En période d'étiage, la nappe phréatique descend déterminant deux zones :

- une zone profonde noyée où le fer est entièrement réduit,
- une zone vadose supérieure où le fer se réoxyde et précipite. Les produits ferriques constituent des tâches, des nodules. La périodicité de ce processus détermine le polyphasage observé.

Seul le cas du fer a été examiné, mais au cours de cette phase se produit une lixiviation des argiles, des carbonates et des néoformations périodiques.

D - Les paléopelosols à polyèdres

1 - Caractéristiques physiques

Les paléopelosols développés dans le bassin de Béchar se caractérisent par :

*a - des phénomènes de réduction
très discrets*

Les marmorisations se réduisent à de petites tâches ocres, jaunes, de décoloration le long des rares traces de racines et des fentes de dessiccation (Pl. 4).

*b - des processus physiques prédominants
avec :*

* une structure polyédrique :

Les polyèdres millimétriques proviennent d'une fragmentation du matériel initial par une alternance d'humectations et de dessiccations. Les éléments en résultant peuvent être plus ou moins déplacés ou alors restés sur place pour constituer un puzzle dont les divers composants s'emboîtent (Pl. 5).

* des structures de type slikenside

L'alternance de phases d'humectation et de phases de dessiccation provoque une diffusion des argiles fines au sein des unités structurales formant ainsi des facettes de friction brillantes ou slikenside (surface lustrée). Dans le bassin de Béchar, elles peuvent être parfois induites de gypse (photo 3).

* des fentes de dessiccation

Elles sont importantes à remplissage gypseux.

L'ensemble des caractéristiques physiques énumérées ci-dessus fait de ce paléosol un pélosol (Muckenhausen, 1963).

2 - Localisation

Les paléopélosols sont développés spécialement dans la Série Argileuse Rouge où ils clôturent des électroséquences à porosité croissante. L'augmentation de la porosité est à mettre

en relation avec la structure en polyèdres. Les séquences de 3° ordre de ce type intègrent des séquences de 2° ordre où les manifestations pédogénétiques sont simples, à légères marmorisations et dessiccations.

3 - Bilan d'une pédogenèse induite par un paléopélosol

Les processus mécaniques prédominent largement dans le bilan d'une pédogenèse de type pélosol. Ils conduisent à une structuration en polyèdres avec des slikensides et des fentes de dessiccation. Les seuls mouvements importants de matière sont ceux des argiles et du gypse qui induisent les surfaces des structures, remplissent les cavités comme les racines et les fentes.

Les processus chimiques sont très minimes et se réduisent en une marmorisation discrète.

4 - Mécanismes

Les pélosols résultent d'une hydromorphie temporaire. Deux facteurs ont concouru à leur développement :

a - une aridité du climat

La Série Argileuse Rouge s'est accumulée dans un contexte de playa, suite à une dérive climatique. Cette aridité est attestée par : la rareté des débris végétaux, la prédominance de la couleur rouge, la présence de gypse et d'halite, l'importance de la dessiccation.

b - une roche mère argileuse

Le sédiment initial fortement argileux (60 % illite; 20 % chlorite) offrant une faible pénétration aux eaux superficielles, ralentit les phénomènes d'altération. Les pluies séjournent en surface dans de petites dépressions. Une partie s'évapore tandis que l'autre s'infiltré lentement dans le profil par imbibition capillaire. Ces sols

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

sont alors alternativement asphyxiants ou secs induisant un débit en polyèdres.

E - Bilan

Les échantillons prélevés et traités proviennent d'environnements variés : plaine deltaïque alluviale, plaine d'inondation fluviale, playa.

Les bilans géochimiques confirment les observations de terrain et de laboratoire. Les résultats sont synthétisés sous forme de tableau (tab. 1).

La pédogenèse, liée ici à une hydromorphie temporaire a conduit à une remobilisation des éléments (le fer essentiellement, le calcium et le magnésium), une hydrolyse des argiles puis à leur redistribution en anneaux concentriques, en nodules ou dans des néoformations argileuses (kaolinite, smectites).

Indépendamment du facteur durée des phénomènes dont le rôle est primordial, ces processus sont plus importants en plaine deltaïque et plaine alluviale fluviale.

IV - APPROCHE GEODYNAMIQUE**A - Synthèse des résultats**

Les paléosols développés au cours du Permo-Carbonifère dans le bassin de Béchar sont de type hydromorphe. Leurs caractéristiques sont synthétisées en un tableau (tab. I). Il en ressort principalement :

1 - Les paléosols présentent des aspects différents en fonction de :

a - la durée de la pédogenèse : l'importance des modifications est en relation directe avec celle des processus pédogénétiques; cela apparaît clairement dans les différents aspects (polyphasage par exemple) et les bilans géochimiques. Une pédogenèse longue entraîne une plus grande remobilisation et redistribution des éléments, des «néoformations».

b - la nature de la roche mère : la nature de la roche mère conditionne la circulation des eaux des nappes aquifères. Quand la roche mère est perméable, les processus chimiques sont bien développés (cas des paléosols à ferruginisations en anneaux et des paléosols à marmorisations). Dans le cas des faciès argileux (Série Argileuse Rouge) les processus physiques prédominent largement (paléopaléosols).

2 - Pour une même roche mère (paléosols à anneaux de Liesegang, paléosols à marmorisations), les paléosols marquent des discontinuités d'importances inégales en fonction de l'intensité des transformations pédogénétiques.

3 - Les paléosols occupent une place bien définie dans le remplissage : fin de séquences de 2°, 3° et 4° ordre et avec des intensités de pédogenèse croissantes.

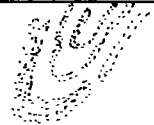



B - Une approche geodynamique de l'évènement paléosol

Dans l'évolution du bassin de Béchar, les paléosols correspondent à des événements qui clôturent des cycles ayant engendré des séquences de 2°, 3° et 4° ordre. Ils constituent des discontinuités scalaires :

Ordres scalaires	Roche mère clastique	Roche mère argileuse	Cause
4°	Ferruginisations en anneaux		glacio-eustatisme
3°	Marmorisations violacées	Paléosol à polyèdres et slikensides	mondial
2°	Marmorisations ocre jaune	marmorisations discrètes	cycle climatique

Tableau I - Synthèse des caractéristiques des paléosols dans le bassin de Béchar

Synthetic characteristics of paleosoils in Bechar Basin

	Paléosols à anneaux de Liesegang	Paléosols à marmorisations		Paléosol à Polyèdres (pélisol)
Principales expressions de la pédogenèse	 - ferruginisations annulaires - marmorisations	 - marmorisations violacées - nodules centimétriques, abondants et structurés - niveaux à racines superposés	 - marmorisations ocres jaunes - nodules millimétriques à centimétriques peu abondants - traces de racines	 - polyèdres millimétriques sliken-side - rares marmorisations
Tranche de sédiment affectée	métrique ou plus	métrique	décimétrique	métrique
Extension latérale	échelle du bassin	échelle du bassin	quelques centaines de mètres	échelle du bassin (?)
Nature de la roche mère	silico-clastique	silico-clastique	silico-clastique ± carbonatée	argileuse
Répartition dans le remplissage	fin de Formation II	Formations III et IV		Série Argileuse Rouge
Environnement	tidal	plaine deltaïque et plaine alluviale fluviale		playa
Localisations/séquences	sommet de séquence 4° ordre	fin de séquence 3° ordre	fin de séquence 1° ordre	fin de séquence de 3° ordre
Bilan géochimique	distribution des éléments en anneaux (fer, phosphate de Ca, kaolinite)	- accumulation du fer en nodules polyphasés, du Mn, Ca - hydrolyse - formation kaolinite	- accumulation de carbonate en nodules - redistribution Fe	- Processus chimiques bloqués - Processus physiques dominants
Mécanismes	Hydromorphie temporaire - réduction et ségrégation locale du fer - redistribution des éléments majeurs en liaison avec les battements de la nappe aquifère.			Hydromorphie temporaire, alternance phases d'humectation et de dessiccation sur roche argileuse
Intensité de la pédogenèse	Forte polyphasée	Forte polyphasée	Pédogenèse simple	Polyphasée

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

Une interprétation (Nedjari, 1998), montre que les cycles de 3° ordre sont l'expression d'un glacio-eustatisme ayant pour origine des cycles astronomiques à 400.000 ans (Berger, 1983).

Les cycles de second ordre reproduiraient des cycles climatiques à 100.000 ans induisant des dérives climatiques. Les dérives climatiques avec le jeu de périodes rhéxistatiques pourvoyeuses de silice détritique et de périodes biostatiques filtrantes pourraient expliquer l'essentiel de ces évolutions. Les horizons pédogénétiques traduisent une amélioration des conditions climatiques.

Par ailleurs, une pédogenèse, pour imprimer durablement ses effets et modifier profondément un sédiment nécessite du temps. Les ferruginisations en anneaux de Liesegang, l'importance des redistributions géochimiques et des néoformations nécessite un facteur temps important - qu'il n'est malheureusement pas possible de quantifier. On peut évaluer la durée d'une séquence, mais pas la part du remplissage et celle du phénomène pédogénétique.

C - Périodicité des paléosols dans le bassin de Béchar

Trois types de paléosols ont été définis dans le bassin de Béchar et occupent une position bien particulière. Ils sont associés à des fins de séquences. La périodicité des paléosols dans ce bassin est celle des séquences qu'ils caractérisent.

Le remplissage moscovien du bassin de Béchar dure environ 8 Ma (de -311 Ma à -303 Ma). Il comporte quatre formations. La durée moyenne d'une formation ou séquence de 4° ordre est ainsi de 2 Ma. De simples calculs (divisions par le nombre de séquences de 3° ordre, puis de 2° ordre selon le cas) donnent les durées moyennes suivantes :

- 400.000 ans pour les séquences de 3° ordre. Cette estimation fluctue entre 250.000 et 500.000 ans selon les formations.

- 50.000 ans pour les séquences de 2° ordre (fluctuation entre 30.000 et 60.000 ans).

Les moyens de datation ne sont pas assez fins pour permettre une mesure précise. Ce n'est qu'une approximation.

Le tableau II résume la périodicité scalaire de ces pédogenèses et une comparaison avec les ordres de grandeur connus et divers exemples (Néogène saharien, Eocène supérieur-Oligocène de Jaca et Plio-Quaternaire du Chéelif) montrent une bonne concordance des valeurs).

Il est à noter que les cycles de 400.000 ans sont liés à un élément orbital de la série : l'excentricité selon la théorie de Milankovitch et ceux de 20.000 - 40.000 ans respectivement à la précession des équinoxes et l'obliquité de l'écliptique. Cette interprétation

Tableau II - Périodicité des paléosols dans le bassin de Béchar

Paleosoils periodicity in Bechar Basin.

Type de paléosol	Position scalaire séquentielle	Rythmicité calculée	Ordres de grandeur connus (*)
Paléosol à marmorisations ocre jaune	fin de séquence de 2° ordre	50.000 ans 30.000 à 60.000	?
Paléosol à marmorisations violacées	fin de séquence de 3° ordre (membre)	400.000 ans (250.000 à 500.000)	200.000 ans à 400.000 ans
Paléosol à ferruginisations en anneaux	fin de séquence de 4° ordre (formation)	2 Ma	1 à 3 Ma

(*) in Delfaud (1986)

Tableau III - Comparaisons périodiques des périodicités des paléosols à travers divers exemples

Comparison of paleosols periodicity through some examples

	Principaux environnements	Climat	Type de sol	Chimisme	Rythmicité		Dynamisme
BAS CHELIF PLIO-QUATERNAIRE	Quat. terrasses et glacis Plio. cônes surfaces d'ablation plaine alluviale surface d'ablation plaine alluviale, cônes	méditerranéen à saisons contrastées	sols rubéfiés fersialitiques	- accumulation calcaire - encroûtement - transformation argileuse (illite, montmorillonite) - néoformation/agradation attapulgitique - rubéfaction	50.000 à 300.000 ans 750.000 à 1,6 MA	10.000 à 50.000 ans 400.000 à 600.000	- bassin intramontagneux, losan- gique tardiorogénique à forte subsidence (160 à 460 m/MA) - séquence de 3 ^e ordre régies par couple tectonique-sédimentation - et tectonique eustatisme au 4 ^e me ordre
JACA (Pyrénées) EOCENE SUP. OLIGOCENE	- fluvio-lacustre et cônes alluviaux - séries deltaïques et tidal flat - série marine : marnes et turbidites localement	Climat à saisons contrastées type méditerranéen	sols fersialitiques à marmorisations caliches	- formation de kaolinite et smectites (en milieu confiné)	1 MA	330.000 à 500.000	- bassin d'avant-fosse très subsident - régime en compression
HAMADAS NEOGENE	- fluvio-lacustre	Climat aride (tropical)	sols rubéfiés	- silicifications - néoformation d'attapulgitique	3 MA?	?	- molasse, bassin cratonique faiblement subsident
BECHAR MOSCOVIEN	- fluvio-lacustre - deltaïque	tropical humide à tropical aride	sols hydromorphes	- formation de kaolinite illite, montmorillonite	2 MA	250.000 à 500.000 400.000 ans	- bassin d'avant-fosse - compression - forte subsidence

est à manipuler avec prudence car cette théorie était destinée à l'explication de phénomènes récents.

Il a semblé intéressant de comparer la phase de comblement du bassin de Béchar et les événements pédogénétiques et toutes ces transformations, le cadre avec d'autres molasses d'âges plus récents. Les exemples traités sont ceux du Plio-Quaternaire du Bas Chélif (Thomas, 1985), l'Eocène supérieur-Oligocène de Jaca (Pyrénées) (Sabrier, 1988) et les hamadas (Conrad, 1969) (Fig. 9).

Le tableau III résume leur principale caractéristique. Des quatre exemples traités, les deux bassins d'avant-fosse, Jaca et Béchar, présentent des similitudes.

Analyses effectuées sur diffractomètre Philips 1710 au Laboratoire SONATRACH (CRD) Boumerdès

BIBLIOGRAPHIQUES

- ARBAY, F., 1987. Les anneaux de Liesegang, vestiges de phénomènes d'oxydo-réduction des périodes régressives du Cambro-ordovicien des monts d'Ougarta (Sahara algérien). *112^{ème} Congrès National des Soc. Sav. Lyon 1987, II^{ème} Colloque de Géologie Africaine*, pp. 189-221.
- BERGER, A., 1980. Miolankovitch astronomical theory of paleoclimates: a modern review. *Vista in astronomy*, 24, p. 103-122.
- CONRAD, G., 1969. L'évolution continentale post hercynienne du Sahara algérien (Saoura, Erg Chech -Tanezrouft, Ahnet- Mouydir). *Publ. Centr. Rech. Zones Arides, série géologie, n° 10, 527 p*, Ed. CNRS, Paris.
- DELFAUD, 1987. Les séquences d'échelle moyenne de plateforme résultant du passage vertical de la sédimentation silico-clastique à la sédimentation carbonatée. *Réunion A.S.F.*, Paris, p. 33-49
- FABRE, J., 1988. Les séries paléozoïques d'Afrique: une approche. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 7, p 1-10.
- IRVING, E., 1983. Fragmentation and assembly of the continents, Midcarboniferous to Present. *Geophysical*.
- KAZI-TANI, N., NÉDJARI, A. ET DELFEAUD, J., 1991. Modalités de fonctionnement d'un bassin d'avant fosse: l'exemple carbonifère de Béchar (Sud-Oranais, Algérie). *C.R.Ac.Sc. Paris*, t. 313, série II, p. 579-586.
- LEGRAND-BLAIN, M., 1986. Dynamique des Brachiopodes carbonifères sur la plateforme carbonatée du Sahara algérien. Paléoenvironnements, paléogéographie, évolution. *Thèse Doctorat ès Sciences, Bordeaux I*, 315 pp.
- MILLOT, G., 1967. Signification des études récentes sur les roches argileuses dans l'interprétation des faciès sédimentaires. *Sedimentology*, 8, p. 259-280.
- NÉDJARI, A., 1991. Dynamique du remplissage littoral et continental moscovo-permien du bassin d'avant fosse de Béchar. Electroséquences, modèles sédimentaires, paléopédogénèses. *Thèse Doctorat ès Sciences, USTHB Alger*, 289 p.
- NÉDJARI, A., 1995. Le dernier grand épandage détritique hercynien au Sahara algérien: exemple du bassin de Béchar-Abadla. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, 6, 2, pp. 195-209.
- NÉDJARI, A., 1998. Lithoséquences et électroséquences dans le houiller du bassin d'Abadla : comparaison des modèles et interprétations. *Bul. du Ser. Géol. de l'Alg.*, 9, 1 pp. 69-79.
- SABRIER, R., 1988. Interprétation géodynamique et climatique d'un complexe deltaïque d'avant chaîne par les minéraux argileux: toposéquence, héritage et néogénèse dans les bassins de Jacca -Pampelune. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 307, série II, pp. 1549-1552.
- THOMAS, G., 1985. Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin du Bas Chélif Occidental (Algérie) durant le Mio-Plio Quaternaire. *Thèse Doctorat ès Sciences, Pau*, 594 p., 162 fig., 3 pl. h. t., 32 tabl. .

Planche 1

Structures en "anneaux de liesegang". Cartes de répartition des éléments majeurs (Si, Al, Fe, Ca, Mn) dans un faciès gréseux d'arrière barrière modifiée par une pédogenèse de type hydromorphe. Bassin d' Abadla. Sondage Sr. 7, prof. 500m.

"Liesegang rings" structures. Maps showing majors elements (Si, Al, Fe, Ca, Mn) repartition in a back beach barrier sand facies modified by hydromorphic pedogenesis evolution; Abadla Basin – Borehole Sr. 7, depth - 500 m .

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

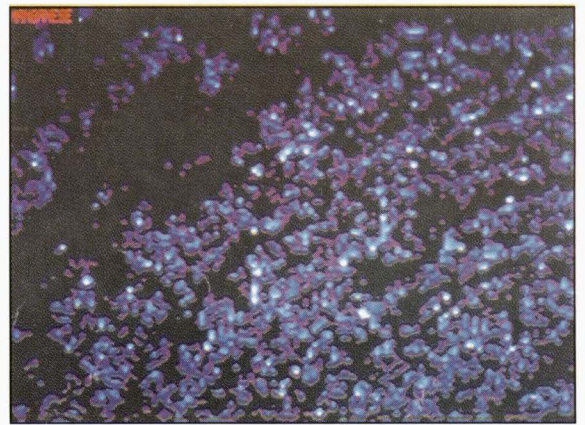
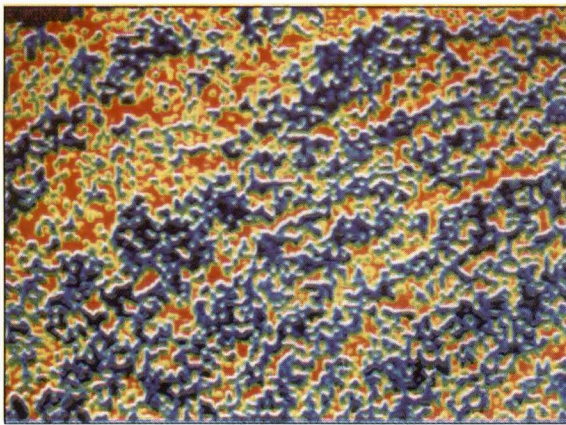
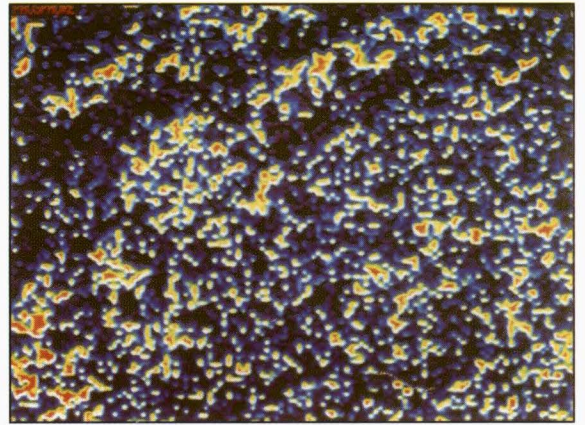
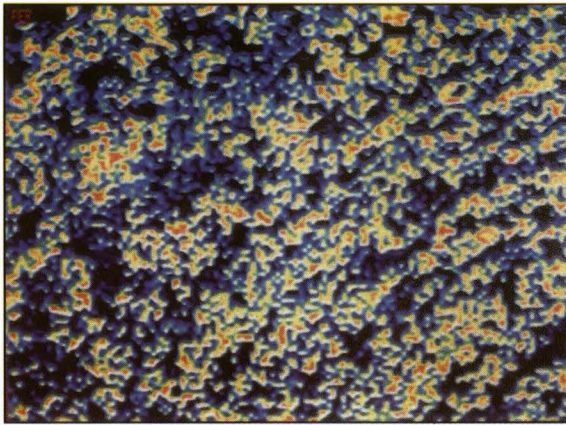
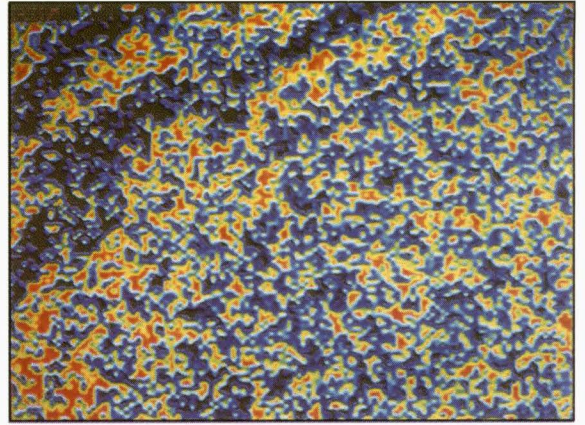
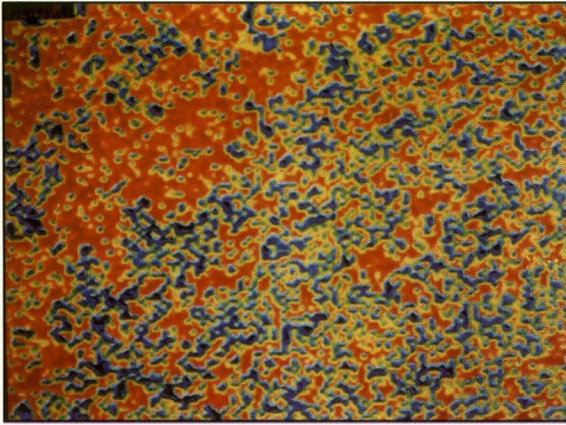


Planche 2

Différents aspects de faciès pédologiques dans le bassin de Béchar.

Ph. 1, 2, 3 : Marmorisations. Les teintes ocre, jaune, brun (Ph. 1) se rencontrent en fin de séquence de 2° ordre. En 1a., le matériel pélitique a subi une réduction totale, contrairement à 1b où la décoloration est partielle. Le matériel initial était rouge (1c). Les marmorisations violacées (Ph. 2) caractérisent les feux de séquence de 3° ordre.

Ph. 3 et 4 : Nodules pédologiques. Les aspects sont un fidèle reflet de l'intensité de la pédogenèse. Ils sont de petite taille (mm) peu abondants à structure simple en feu de séquence de 2° ordre et au contraire abondants, centimétriques et à structure complexe (Ph. 3) au sommet des séquences de 3° ordre.

Ph. 4 et 5 : Les traces de racines ont une importance réduite en fin de séquence de 2° ordre (Ph. 4) et se relaient sur 1-2 m de 3°ordre.

Different aspects of the pedogic facies in Bechar Basin.

Ph. 1,2,3 : *Mottled facies, Ocreous, yellow and brown aspects (ph. 1) are found at the end of the 2 nd order sequences. In 1a. the sediment is completely reeduced , in 1b.partiely decolored; Initial material was red. (1. c). Violet mottled facies (ph. 2)ends the 3 rd order sequences.*

Ph. 3 and 4 : *Pedogenetic nodules. The nodules aspects depends on the pedogenesis intensity .They are small (mm) with simple structure at the top of the 2 nd order sequence but larger (cm) more abundant with polyphased structure at the end of 3 rd order sequence .*

Ph. 4 and 5 : *Root traits are minors at the end of 2 nd order sequence (Ph. 4) but well developed (1-2m) a top of 3 order sequence.*

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

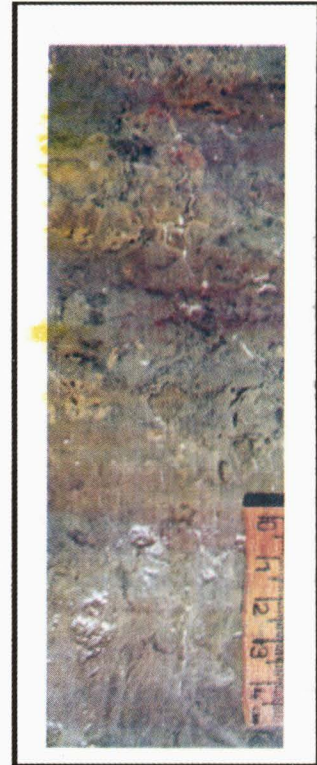
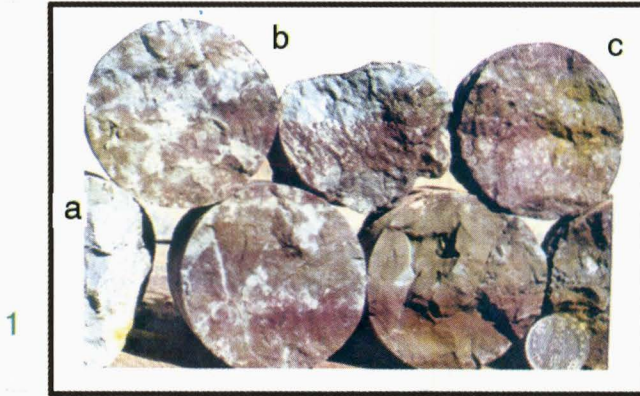


Planche 3

Cartes de répartition des éléments chimiques (Si, Al, Fe, Ca, Mn, K) dans un faciès de plaine alluviale modifié par une pédogenèse de type hydromorphique Bassin d'Abadla. Sondage Sr. 37 Prof. 1050m.

Mapes showing the chemical elements (Si, Al, Fe, Ca, Mn, K) repartition in alluvial plain facies affected by simple hydromorphic pedogenetic modifications. Abadla Basin. Borehole Sr. 37 depth – 1050 m.

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

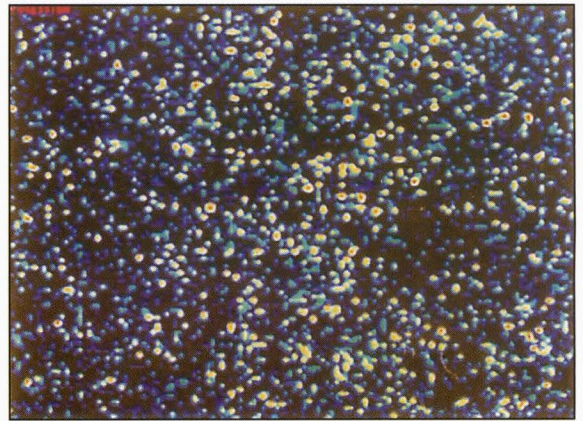
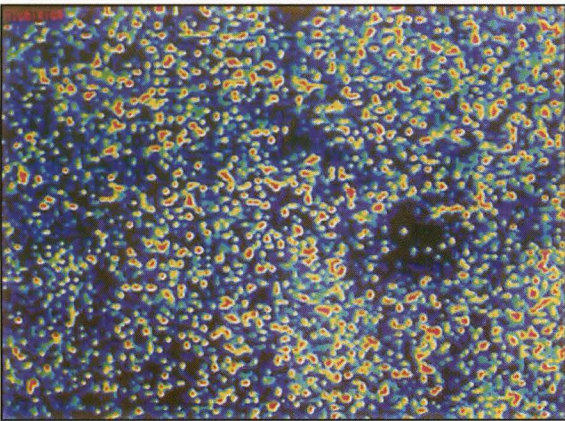
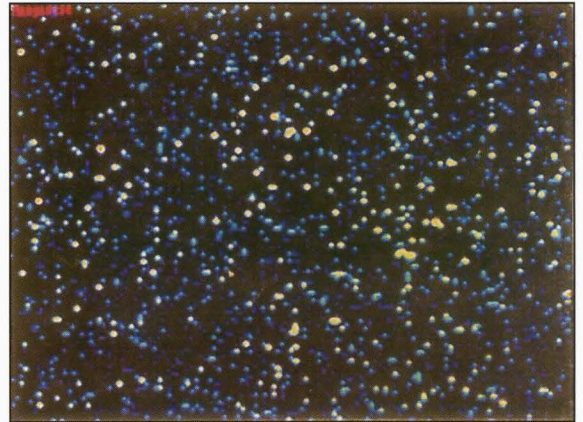
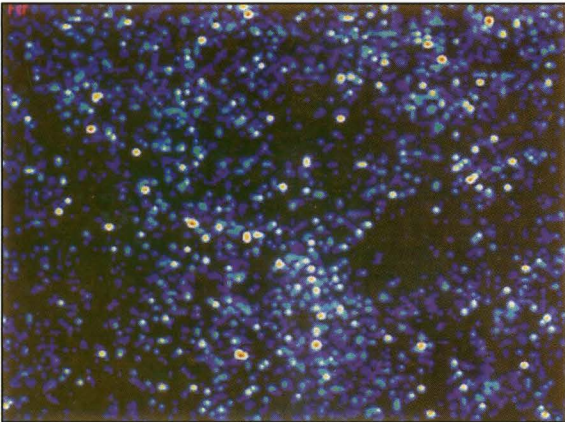
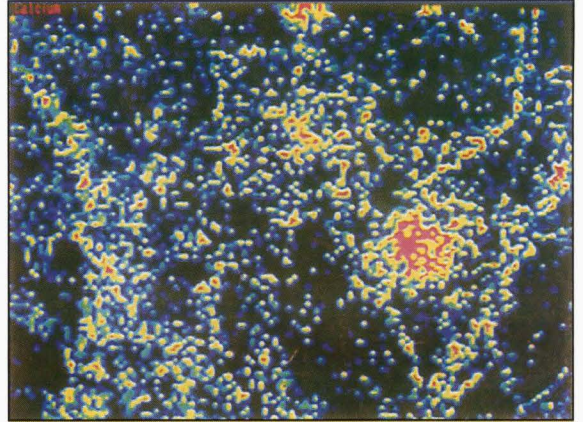
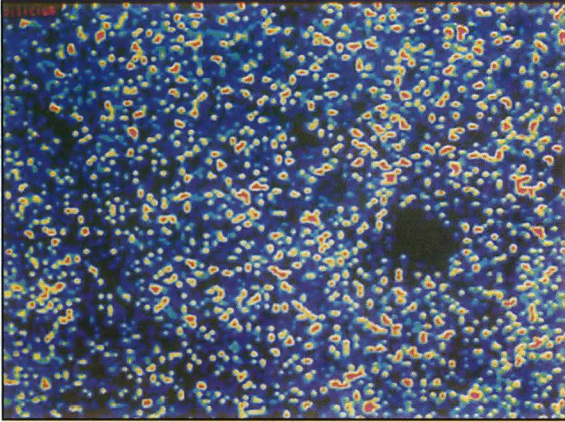


Planche 4

Cartes de répartition des éléments chimiques (Si, Al, Fe, Ca, Mn, K) dans un faciès de plaine alluviale modifiée par une pédogenèse de type hydromorphe complexe. Bassin d'Abadla. Sondage Sr. 37. Prof. 1000m.

Maps showing the chemical elements (Si, Al, Fe, Ca, Mn, K) repartition in alluvial plain facies affected by complex hydromorphic pedogenetic modifications. Abadla basin. Borehole Sr. 37 depth – 1000 m.

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

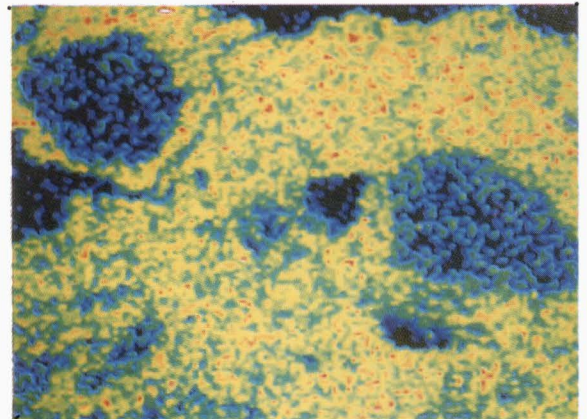
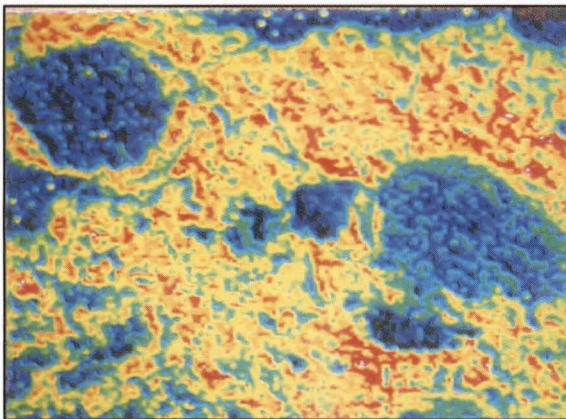
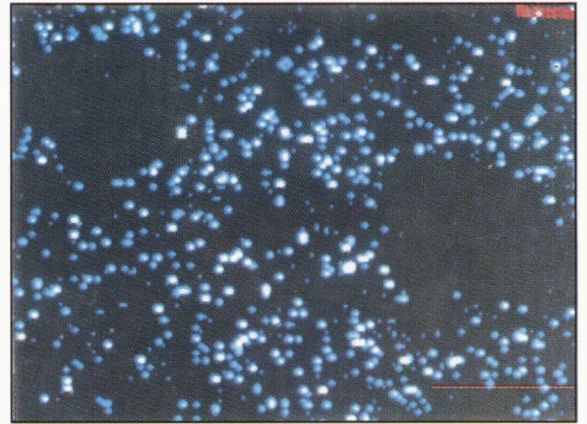
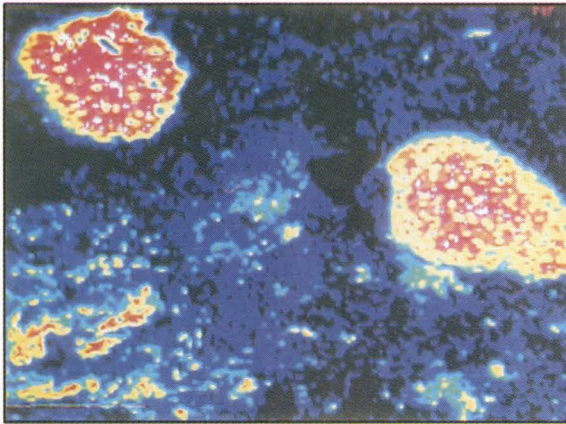
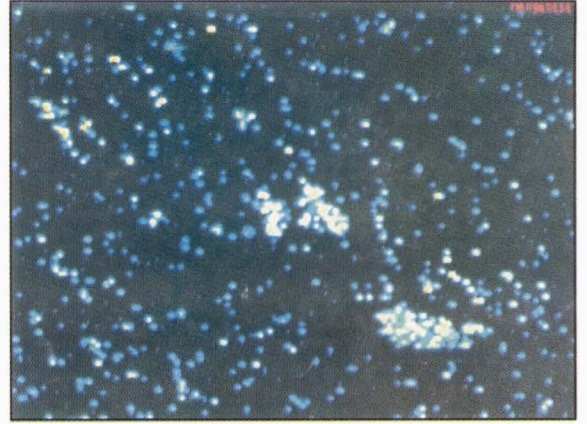
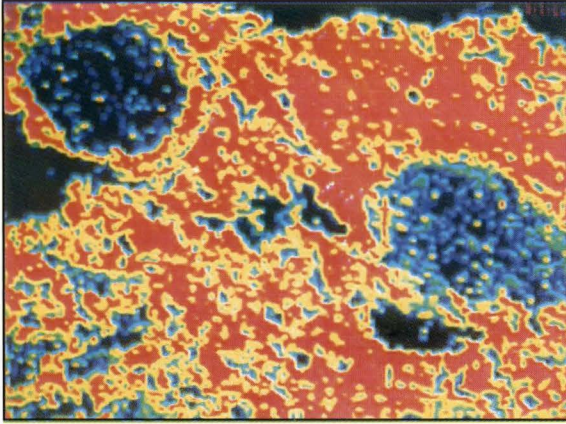


Planche 5

"Série argileuse rouge". Bassin du Mezarif - Sondage 8 - Les modifications pédologiques sont essentiellement engendrées par des processus mécaniques. Le résultat est une structure en polyèdres (1,2), recouverts parfois par de l'argile, du gypse (2,3). La dessiccation est importante (4,5). Les processus chimiques se réduisent à une discrète marmorisation.

"Série Argileuse Rouge". Mezarif Basin - Borehole 8 - Pedogenetic modifications are essentially produced by mechanics processus. The result is a polyedric structures (1.2), covered some times by clay, gypsum (2, 3). Dessiccation is importante (4.5). Chemical processus are minors with soft mottling (6).

LES PALÉOSOLS DU MOSCOVO-PERMIEN DU BASSIN DE BÉCHAR (ALGÉRIE)

