

ETUDE MINÉRALOGIQUE DES ARGILES DE QUELQUES ROCHES-MÈRES ET SOLS DES BENI MOUSSA (TADLA)

C. HESS, G. MISSANTE et U. SCHOEN

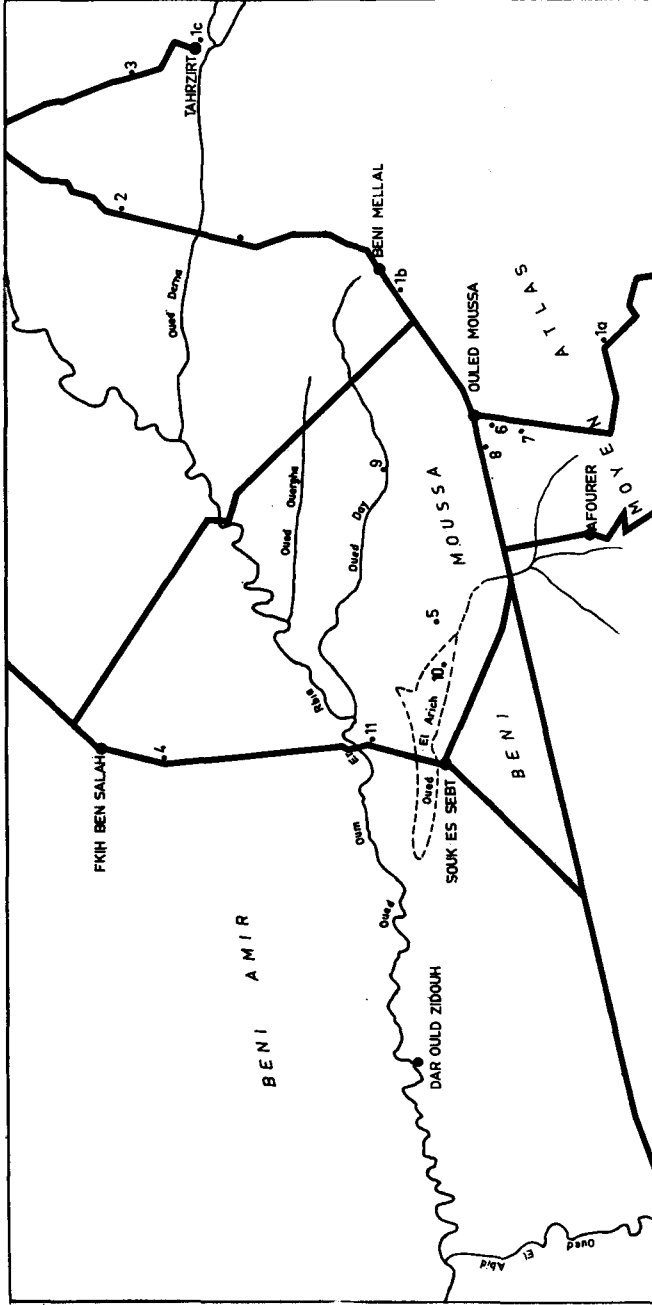
SOMMAIRE

Etude minéralogique
Discussion des résultats
Conclusions

L'étude minéralogique des argiles [10] a été entreprise en collaboration avec les pédologues [9] afin d'établir les rapports pouvant exister entre les sols et leurs roches-mères, ainsi que l'évolution des minéraux argileux sous l'action des différentes pédogenèses qui se sont succédées durant les périodes du Quaternaire. HESS et SCHOEN s'intéressant plus particulièrement aux vertisols, dans le cadre d'une étude générale [5], nous avons voulu surtout caractériser les phénomènes de tirsification observés dans les Beni Moussa.

La plaine des Beni Moussa, située entre l'Oum Er Rbia et le Moyen Atlas, est une zone de subsidence comblée au Quaternaire Moyen — à l'Amirien principalement — par des matériaux originaires du Moyen Atlas (essentiellement pliocènes, éocènes, liasiques, jurassiques et permotriasi-ques).

Croquis de situation des profils étudiés



- 1 a. Marne rouge
- 1 b. Marne blanche
- 1 c. Argile rouge
- 2. « Pseudo-rendzine »

- 3. Sol châtain
- 4. Sol brun
- 5. Sol brun « humifère »
- 6. Sol tirsifié « Ouled M'barek »

- 7. Sol tirsifié « lithochrome »
- 8. Sol tirsifié « Ouled Moussa »
- 9. Tirs « oued Day »
- 10. Tirs « oued El Arich »
- 11. Tirs « du déversoir »

Les sols se répartissent de la façon suivante :

- dans la zone bordant l'Oum Er Rbia et à climat aride : sols bruns isohumiques subtropicaux.
- dans la zone bordant le Moyen Atlas et à climat semi-aride : dominance de sols châtain subtropicaux et de sols tirsifiés (vertisols).

ETUDE MINERALOGIQUE

Etant donné l'orientation principale de cette étude, nous avons distingué les groupes suivants :

I. Les roches-mères

- Marne rouge (Lias)
- Marne blanche (Eocène)
- Argile rouge (Pliocène)

II. Les sols non-vertisoliques

- « Pseudo-rendzine »
- Sol châtain isohumique
- Sol brun isohumique modal
- Sol brun isohumique « humifère »

III. Les sols vertisoliques

- Sols tirsifiés et tirs

I. Les roches-mères *

Il nous a été très difficile de trouver l'origine de toutes les alluvions de la plaine, mais nous avons retenu trois exemples qui, indéniablement, ont été parmi les matériaux parentaux des sols.

* La teneur en minéraux argileux des trois roches-mères représentées ici s'accorde avec la moyenne des échantillons étudiés au Service d'études des gîtes minéraux ; par exemple : la faible teneur en illite est caractéristique pour les marnes du Tertiaire, la présence d'attapulgite et de sépiolite est très courante pour les marnes blanches de l'Eocène. En ce qui concerne la teneur moyenne en minéraux argileux des argiles du Permo-Trias, voir citation bibliographique [6].

Spectres aux rayons X et leurs interprétations pour trois roches-mères (fraction <math> < 2 \mu </math>)

Fig. 1 — Lias : Marne rouge
Min Sol 130 * (Ouauzarthe au 100 000°
± 400 - 178,4)

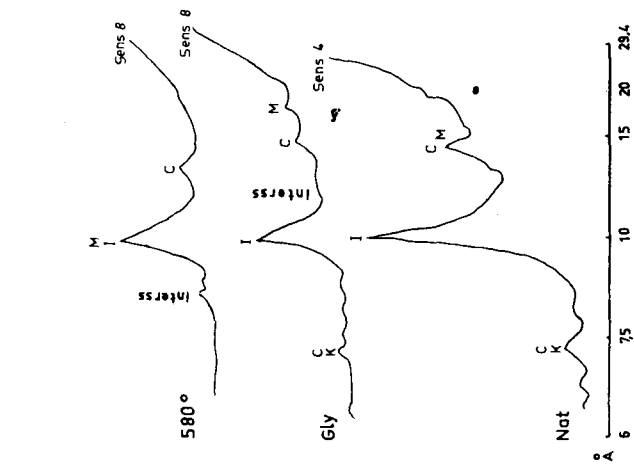
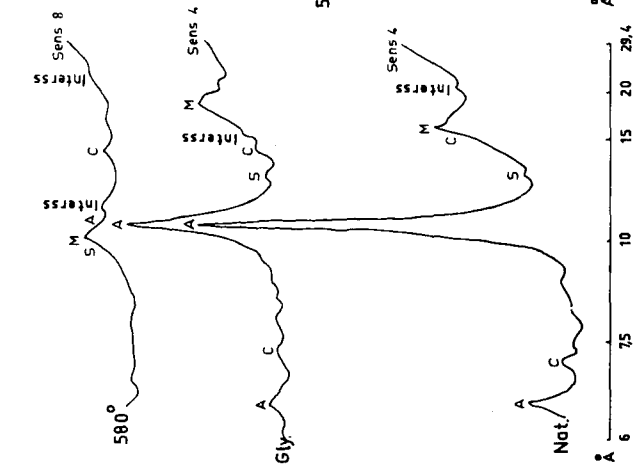


Tableau 1

a)

I	C	V	M	Inters	K	A	calcite
F	ff	abs ¹⁾	ff	f	ff	abs.	nd. ²⁾

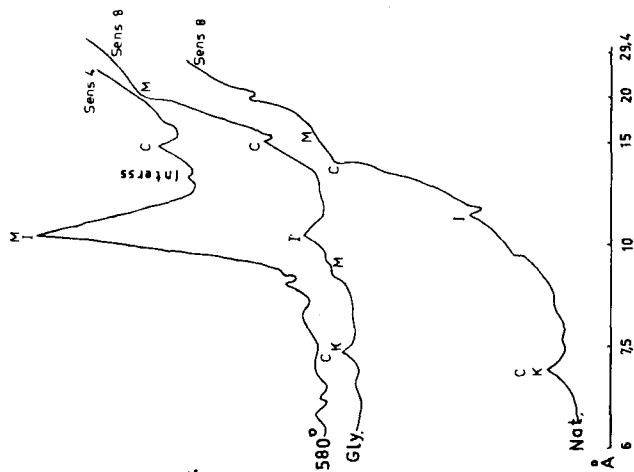
Fig. 2 — Eocène : Marne blanche
Min Sol 134 (Beni Mellal 406-190)



b)

I	C	V	M	Inters	K	A	S	calcite
abs.	ff	abs.	(m)	ff	abs.	FF	f	f

Fig. 3 — Pliocène : Argile rouge
Min Sol 235 (Kasba Tadla au 100 000° 7-8
425 - 206)



c)

I	C	V	M	Inters	K	A	calcite
f	mf	abs.	mf	f	f	abs	nd.

* Enregistrement du Laboratoire de minéralogie du sol.

1) abs = absente.

2) calcite : raie à 3,03 Å.

1. Marne rouge

Cette marne rouge est rencontrée dans les formations liasiques qui ont été conservées dans certains sites privilégiés.

La fraction argileuse de cette marne est dominée par l'illite (I).

La très faible teneur en montmorillonite (M) est chose courante dans les sédiments anciens ayant subi de fortes pressions [3].

En zone de piedmont, nous avons rencontré quelques vestiges des formations Eocène (maritime) et Pliocène (lacustre) du Tadla. Elles nous ont permis d'étudier leurs relations avec les sédiments de la plaine en particulier pour le tirs « du déversoir » et le « sol châtain ».

2. Marnes blanches

L'échantillon provient des collines de l'Eocène avoisinant Beni Melal. Attapulгите (A), montmorillonite (M), sépiolite (S) et calcite en sont les minéraux argileux caractéristiques.

D'après MILLOT *et al.* [8] ces minéraux se sont formés pendant une sédimentation marine à proximité d'un continent en voie de latéritisation. Plus on s'éloigne du continent, plus la teneur en S augmente. Inversement, en s'approchant de la côte, S disparaît et la kaolinite (K) apparaît. Cette dernière n'est pas de néoformation marine comme M, A, S et la calcite, mais est un héritage provenant de l'érosion du continent et sédimenté dans la frange côtière. Cet autre type de marne blanche, sans S et avec K, serait représenté par la roche-mère sur laquelle le tirs « du déversoir » s'est formé (voir TABLEAU 11).

3. Argile rouge

A hauteur de Taghzirt, nous avons pu observer une très haute terrasse pliocène formée d'argile rouge décarbonatée, celle-ci ayant constitué le matériau parental essentiel des formations très rubéfiées (lithochromie + rubéfaction) de cette région.

Une montmorillonite mal cristallisée en est le minéral le plus important. L'absence de A et de S la distingue des marnes blanches.

La forte teneur en M, dont on reparlera au sujet de la tirsification, indique l'âge plus jeune de cette roche par rapport au Lias et l'absence de pression exercée sur le sédiment [ce qui aurait pu transformer M en vermiculite (V) et chlorite (C) ou en I].

II. Les sols non-vertisoliques

Quatre exemples ont été retenus en fonction de leur répartition importante dans la plaine.

1. Les « pseudo-rendzines »

Ce sont des sols minces à profonds, foncés, à structure grumeleuse, mais à faible teneur en matières organiques. Le substratum est un tuf calcaire surmonté ou non d'une croûte calcaire tendre.

TABLEAU 2 — « Pseudo-rendzine »
N 474 * (Kasba Tadla 416,2 - 212,8)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2:1	K	A	Calcite
Sol à 20 cm	ff	f	f	m	f	f	abs.	mF
Tuf à 100 cm	ff	mf	ff	m	f	ff	abs.	F

*** pédogen.

* Enregistrement de la Cartographie des sols.

** Le filet gras désigne la limite entre deux apports successifs.

*** L'accolade groupe les prélèvements qui ont subi la pédogenèse.

La composition minéralogique de ce profil semble indiquer une pédogenèse pendant laquelle V aurait augmenté aux dépens de C. La teneur en K, différente dans le sol et dans le tuf, exclut qu'il s'agisse d'un seul et même apport car K n'augmente pas durant les pédogenèses du Quaternaire (voir discussion des résultats). Dès lors, nous ne pouvons pas nous prononcer sur l'évolution de l'argile durant la pédogenèse.

Nous sommes donc en présence de deux apports d'origines différentes, ceux-ci étant confirmés par les observations du terrain.

2. Les sols châtaîns isohumiques

Cet exemple est l'un des rares où nous avons pu faire le rapprochement avec la roche-mère originelle : l'argile rouge du Pliocène.

Sur le même matériau parental, en zones où les sols sont plus profonds et à meilleure rétention d'eau, nous passons à des sols tirsifiés.

TABLEAU 3 — Sol châtain
N 476 (El Ksiba 422,3 - 212,1)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2:1	K	A	Calcite
Sol à 40 cm	f	f	abs	mF	mF	f	abs	abs
Matériau parental (Pliocène)	f	mF	abs	mF	f	f	abs	nd

* Ce même échantillon est déjà représenté dans le TABLEAU 1 c.

La composition minéralogique de la fraction inférieure à 2 μ reflète celle de la roche-mère : les teneurs en K, I, et M restent les mêmes. Le seul changement observé est la diminution de C au profit des interstratifiés en particulier C-M. Les minéraux du groupe 2:1 sont aussi mal cristallisés que ceux de la roche-mère.

3. Les sols bruns isohumiques

Ces sols sont très répandus dans les Beni Moussa et au-delà de l'Oum Er Rbia dans les Beni Amir, où nous avons effectué le prélèvement, l'exemple donné étant celui d'un sol brun à granules.

TABLEAU 4 — Sol brun isohumique à granules
N 461 (Fkih Ben Salah 339,7 - 226,5)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2:1	K	A	Calcite
Sol à 10 cm	f	f	ff	abs.	f	f	abs	f
Horizon à granules à 35 cm	f	f	ff	abs	f	f	abs	f
Tuf granu- laire en- croûte à 90 cm	f	f	f	abs	ff	f	*	f

} pédogen.

* = traces.

Nous avons constaté que M est absente dans le matériau parental et qu'elle n'a pas apparu au cours de la pédogenèse. Bien que la formation du sol brun atteigne tout le profil sur un apport présumé homogène (I, C, K et calcite sont constantes sur tout le profil), l'analyse minéralogique nous fait croire à une évolution ultérieure qui se traduit par la transformation de V vers M, mais celle-ci restant au stade de l'interstratifié V-M.

4. Les sols bruns isohumiques « humifères »

Il s'agit des sols forestiers initiaux du bois de Derouat dont le faciès général est : sol foncé, humifère sur un tuf calcaire à granules ou à nodules encroûtés ou non, et qui, en zones défrichées, se sont dégradés.

TABLEAU 5 — Sol brun humifère : sol forestier initial

N 439 (Ouled Bou Rahmoun 387,3 - 191,2)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2-1	K	A	Calcite
Sol à 20 cm	mF	mF	f	abs	mF	mF	abs	f
Tuf à 50 cm	mF	mF	f	abs	mF	mF	abs	mF

La composition minéralogique de ce sol, où nous n'avons pu reconnaître aucun indice d'évolution des minéraux argileux (V constante), fait exception aux autres prélèvements dans la région étudiée : absence de M et teneurs importantes en I et C. La constance de K dans tout le profil nous fait affirmer que le sol s'est formé sur un seul apport ou sur plusieurs apports provenant d'une même source, alors que pour la « pseudo-rendzine » nous avons conclu à deux épandages de sources différentes.

III. Les sols vertisoliques

1. Les sols tirsifiés

Ces sols se sont formés sur des alluvions d'origine atlasique, en général profondes et très rouges.

Nous comparerons trois sols étudiés dans un site très restreint, au contact plaine-montagne, les conditions climatiques étant identiques.

TABLEAU 6 — Sol tirsifié « Ouled M'barek »
Min Sol 108 (Beni Mellal 398,8 - 186,4)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2:1	K	A	Calcite
à 50 cm	f	mf	abs.	f	f	f	*	f

* = traces

TABLEAU 7 — Sol tirsifié sur matériau parental rubéfié
(« lithochrome ») N 469 (Beni Mellal 400,7 - 185)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2:1	K	A	Calcite
Horizon non calcaire à 30 cm	f	f	abs.	mf	f	f	*	abs.
Horizon calcaire à 70 cm	f	mf	abs.	f	ff	f	*	f

* = traces

TABLEAU 8 — Sol tirsifié « Ouled Moussa »
N 470 (Beni Mellal 398,7 - 187,3)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2:1	K	A	Calcite
Sol (Soltanien) à 20 cm	f	m	abs.	F	f	f	abs.	f
Tuf à granules (bas du Soltanien) à 45 cm	f	mF	abs.	mF	f	f	abs.	ff
(Haut du Tensiftien) à 55 cm	f	mF	abs.	mF	f	f	abs.	f

pédogen.
soltanienne

* Le filet gris désigne la limite entre deux apports successifs.

a. *Sol tirsifié « Ouled Moussa »*

Ce sol est formé sur une argile rouge, calcaire, à granules et taches calcaires en profondeur.

b. *Sol tirsifié « Ouled M'Barek »*

Ce sol fait partie du même alluvionnement que le sol tirsifié « Ouled Moussa », mais étant situé dans une dépression mal drainée les caractères de la tirsification sont plus nets.

c. *Sol tirsifié « lithochrome »*

Ce sol est formé sur une argile très rouge, lithochrome, d'origine différente des deux sols précédents. Le sol est décarbonaté en surface et le substratum est constitué de lits de galets non encroûtés.

La composition minéralogique de l'argile de ces trois profils est caractérisée par de faibles teneurs en I et K qui ne changent pas au cours des pédogenèses, par contre C diminue au profit des interstratifiés et de M. Bien que les observations du terrain voient la formation des sols « Ouled Moussa » et « Ouled M'Barek » sur le même alluvionnement, l'analyse minéralogique décèle une hétérogénéité qui se traduit par des teneurs différentes en M. La disparition de la calcite dans l'horizon de surface du tirsifié « lithochrome » est à rapprocher de la décarbonatation, celle-ci étant la suite d'une intensité pédoclimatique différente ou d'un drainage plus facile. Dans ce même horizon, nous constatons également une légère augmentation de la goethite, qui pourrait être attribuée à l'action de la pédogenèse *, ce profil résultant très probablement d'un apport unique.

Dans tous les échantillons les minéraux 2:1 sont mal cristallisés, sauf dans celui prélevé à la base du sol tirsifié « Ouled Moussa » où nous observons une meilleure cristallinité. Cette différence pourrait être un héritage du matériau parental car la pédogenèse soltanienne ayant influencé aussi le Tensiftien n'a pas pu l'effacer et produire une dégradation homogène des minéraux 2:1 sur l'ensemble du profil.

2. Les tirs

Les Beni Moussa n'ayant pas d'exutoire naturel du fait que la bordure de l'Oum Er Rbia n'a pas été entamée au Quaternaire Moyen, les eaux se sont rassemblées dans les deux zones qui ont formé les oueds Day et El Arich.

* La formation de goethite étant rencontrée sous climat chaud et humide, cette pédogenèse serait au moins soltanienne.

L'oued Day, drainant toute une zone de sols sur croûte, a trouvé plus facilement un exutoire et ne s'est pas étendu, tandis que l'oued El Arich, formé au contact argile profonde-tuf, s'est étendu en une vaste zone marécageuse. Les roches-mères sur lesquelles les sols de la région de l'oued Day (« sol brun humifère », tirs « oued Day ») se sont formés, seraient à rattacher à un alluvionnement plus ancien d'origine liasique qui n'aurait subi que des remaniements.

Il en résulte que les sols de l'oued Day ont été remaniés et rajeunis constamment par des apports latéraux provenant des sols périphériques, tandis que pour les sols de l'oued El Arich les apports étaient rares, l'hydromorphie étant liée à la résurgence de la nappe.

a. Tirs « oued Day »

Bien que formé par des apports successifs qui ont fait « pousser » le tirs du bas vers le haut par immixtion, la composition minéralogique de l'argile des trois horizons de ce sol est presque constante, la teneur élevée en I la distinguant de tous les autres étudiés dans les Beni Moussa. I se retrouve également dans le « sol brun humifère » ainsi qu'une présence exceptionnellement forte en C. Nous concluons donc à une certaine constance du réseau hydrographique qui a fourni toujours des matériaux d'érosion venant d'une même source.

TABLEAU 9 — Tirs « oued Day »
Min Sol 103 à 105 (Beni Mellal 397,8 - 193,8)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2:1	K	A	Calcite
Noir 0-33 cm	mF	mF	f	ff	f	mf	abs.	f
Base du noir 33-55 cm	mF	mF	f	ff	f	mf	abs.	ff
Beige à 80 cm	mF	mF	f	abs.	f	mf	abs.	ff

) pédogen.

Cette immixtion continuelle n'a pas laissé le temps à une évolution des minéraux argileux : V et C restent constantes malgré leur forte présence sans évoluer vers M quasi absente dans le matériau parental (V et C étant les principaux fournisseurs de M, par transformation des feuillets d'argile).

Malgré que la teneur en calcaire total passe de 8 % en surface à 35 % dans l'horizon beige, l'augmentation de la calcite dans la fraction inférieure à 2μ de l'horizon de surface indique une répartition plus fine du calcaire qui serait causée par sa précipitation dans ce « tirs de marais » durant la période du dessèchement annuel.

b. Tirs « oued El Arich »

Le TABLEAU 10 montre l'homogénéité minéralogique de ce profil.

TABLEAU 10 — Tirs « oued El Arich »
Min Sol 127 et 128 (Oulad Bou Rahmoun 384,4 - 190,6)

Horizon	I	C	V	M	inters. 2:1	K	A	Calcite
0 - 45 cm	f	f	abs.	m	f	mf	n.d.	n.d.
à 100 cm	f	f	abs.	m	f	mf	*	n.d.

} pédogen.

* = traces.

M, présente en quantité moyenne, est mal cristallisée ; les traces de A, encore visibles à la base, ont disparu dans l'horizon supérieur.

c. Tirs « du déversoir »

Dans une petite dépression comblée de la région de Souk es Sebt, nous avons trouvé un tirs très caractéristique sur des apports successifs nettement séparés chaque fois par un cailloutis de base. Les 1^{er} et 2^e apports ont pu être datés Amirien et Tensiftien à cause de leur faciès caractéristique, le tirs s'étant formé sur les 3^e et 4^e apports ; nous lui avons donné le nom de tirs « du déversoir ».

Le TABLEAU 11 donne les résultats de l'analyse minéralogique. Les FIGURES 4 à 7 réduites au 1/3 reproduisent, à titre d'exemple, les courbes dont les interprétations ont conduit à de tels résultats. Dans les FIGURES 4, 5 et 6, il est possible de comparer la hauteur des pics correspondant aux raies principales des différents minéraux dans les spectres de diffraction. Elles se maintiennent, se déplacent, s'amplifient, s'affaiblissent ou disparaissent après traitement au glycérol ou chauffage. A titre d'exemple, nous montrons deux sensibilités : lorsqu'elle est diminuée (sens 8), ce qui comporte une plus grande fidélité, les pics sont plus petits sans que

cela correspondre à une quantité moindre. A cause de l'échelle réduite, nous avons renoncé à désigner les pics des interstratifiés. Aux courbes d'ATD (FIG. 7), l'augmentation de M se traduit surtout par l'accroissement du pic endothermique entre 200 et 300° C.

L'homogénéité des quatre apports est démontrée par la constance de K et de C. Après avoir observé que l'évolution des minéraux argileux en tant que caractère de la pédogenèse n'a guère eu lieu dans le premier apport, nous pouvons considérer celui-ci comme le matériau parental représentatif de l'ensemble du profil : ce serait une marne blanche de l'Eocène moins pélagique que celle décrite plus haut (FIG. 2).

L'évolution des minéraux argileux lors des pédogenèses qui ont influencé les 2^e, 3^e et 4^e apports se faisait dans le même sens : A, minéral peu stable dans les conditions atmosphériques, se dissout pour donner lieu à une néoformation de M (minéral argileux formé durant les pédogenèses du Quaternaire), tandis que C se maintient malgré sa tendance générale à se transformer en M. Ce n'est qu'après la disparition de A que C aurait été attaquée. Pour des vertisols de l'Afrique Noire, une disparition totale de A au profit de M a été signalée [7]. Cette évolution n'est pas forte car A subsiste malgré sa diminution. Cette constatation pourrait être liée à un faciès lacustre pour les 1^{er} et 2^e apports.

DISCUSSION DES RESULTATS

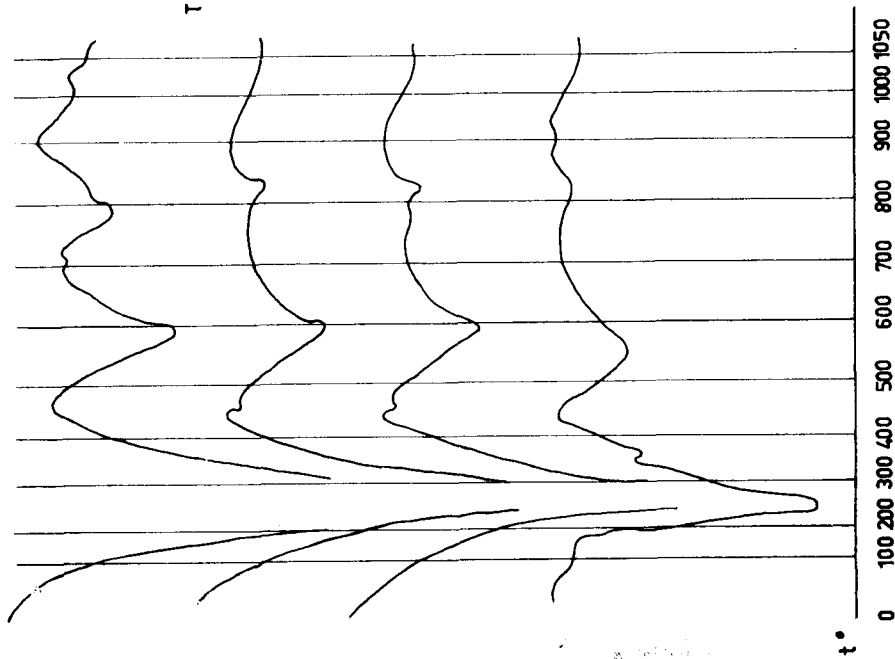
1. Evolution des minéraux argileux en tant que caractère de la pédogenèse

Selon les espèces minéralogiques et l'intensité de leur évolution nous pouvons observer, dans un profil à matériau parental homogène, des égalités et des différences significatives :

- K et I ne changent jamais au cours des pédogenèses, même si celles-ci sont intenses.
- M ne diminue jamais, elle se maintient ou augmente.
- C et V n'augmentent jamais, elles se maintiennent ou diminuent au profit soit des interstratifiés 2:1, soit de M.
- Les interstratifiés se maintiennent ou augmentent.
- S et A diminuent ou disparaissent, exception faite pour le « lithochrome » où des traces de A subsistent.
- La calcite diminue, se maintient ou augmente.

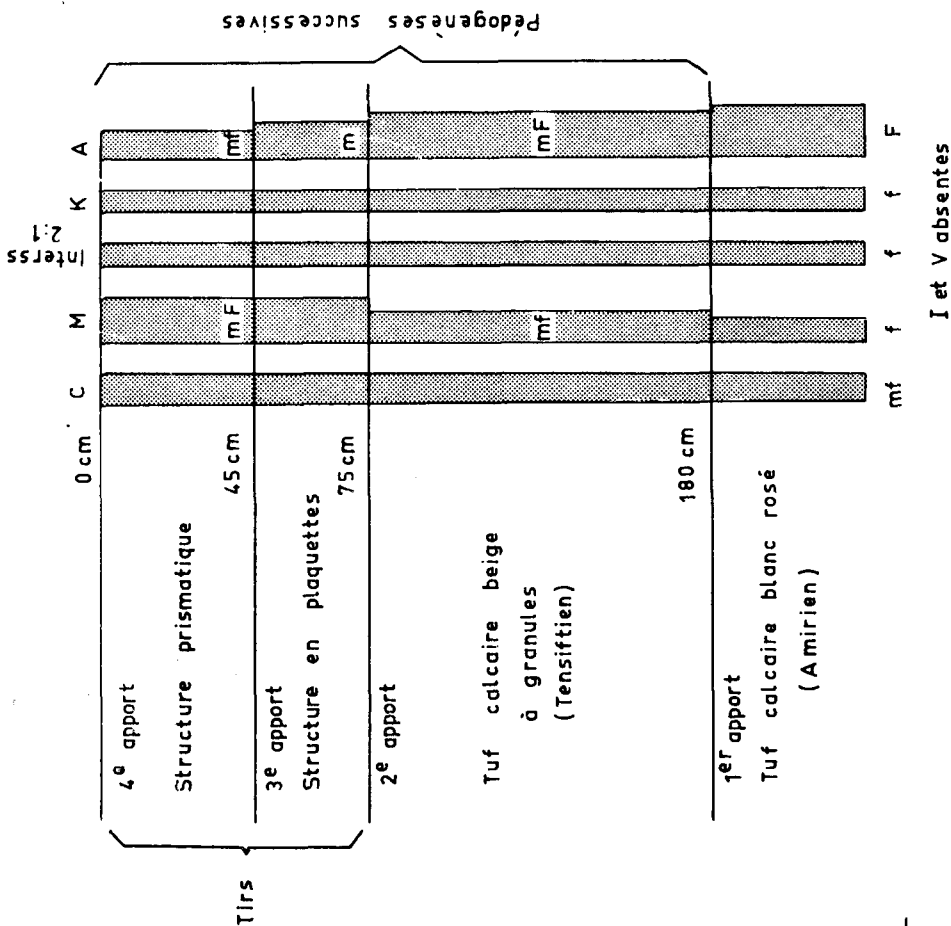
FIG. 7

A.T.D. (Analyse Thermique Différentielle)



TABEAU II

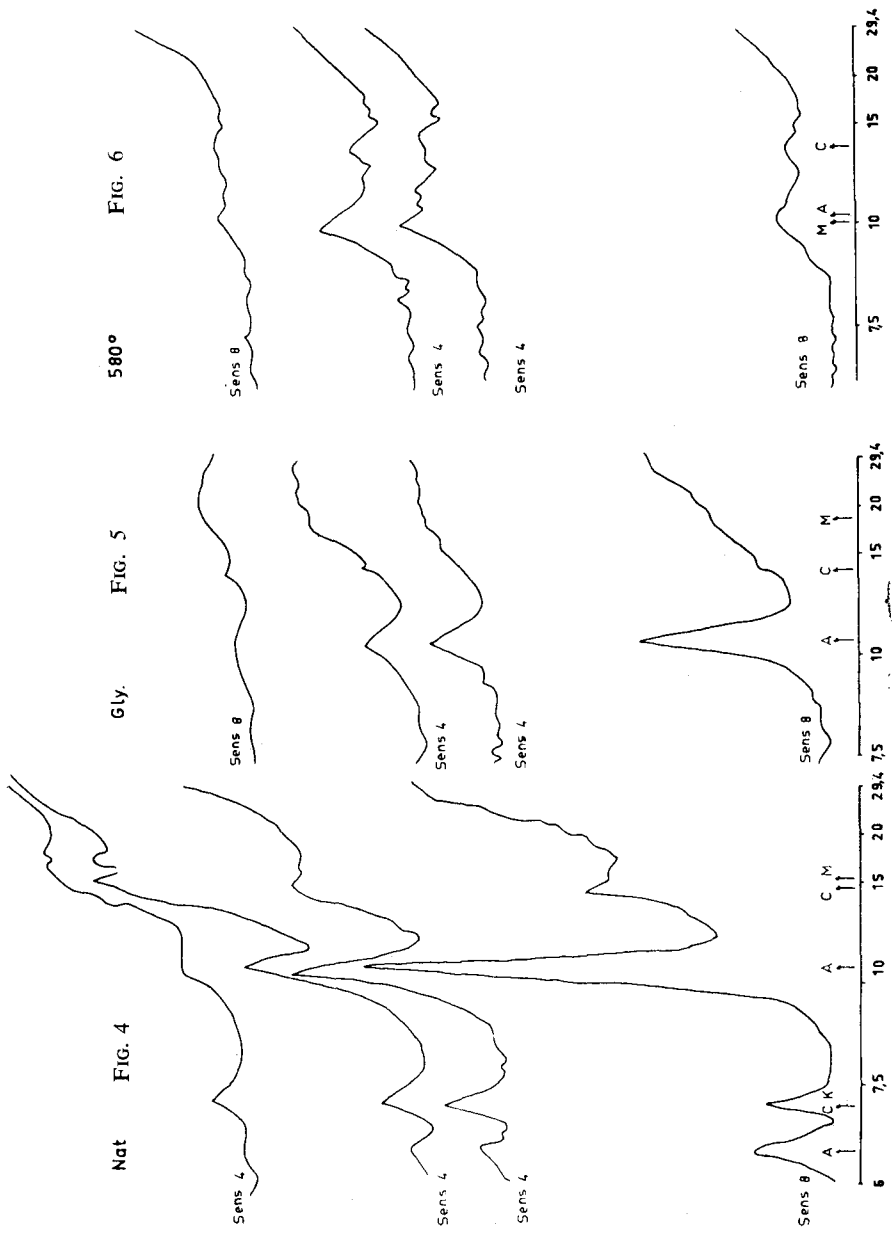
Schéma de la composition minéralogique (fraction <math>< 2 \mu</math>)



I et V absentes

Tirs « du déversoir »

Spectres aux rayons X et leurs interprétations



Nat FIG. 4

Gly. FIG. 5

FIG. 6

580°

Mise à part l'accumulation de calcite dans l'horizon de surface du tirs « oued Day », celle-ci étant liée au caractère « marécage », la tendance de toutes les évolutions va vers la formation de M. Les interstratifiés 2:1, étant des minéraux à couches mixtes dont fait partie le plus souvent le feuillet montmorillonitique *, peuvent être considérés comme des états intermédiaires de la formation de M [2]. Le « sol brun » dont l'évolution des minéraux est peu intense est resté à ce stade : le produit final M n'a pas été formé.

Les fournisseurs de M par le truchement de l'interstratification sont C et V. Dans le cas d'une évolution peu intense, c'est cette dernière qui diminue d'abord (sol brun isohumique).

Le maintien de C et V indique :

- soit une évolution très peu intense (« sol brun humifère ») ;
- soit une évolution freinée par l'hydromorphie (tirs « oued Day ») ;
- soit une forte présence d'un autre fournisseur de M (tirs « du déversoir »).

I, bien qu'étant aussi du groupe des minéraux 2:1, ne se transforme pas en M par interstratification à cause de sa stabilité. Pour obtenir ceci il aurait fallu des conditions d'évolution plus intenses que celles observées dans les Beni Moussa.

K en tant que minéral typique de néoformation dans les sols ferrallitiques et dans certains sols ferrugineux tropicaux [11] ne s'est pas formée dans les sols étudiés des Beni Moussa. Nous pouvons la considérer comme un héritage inchangé d'une période plus chaude et plus humide, contenu dans le matériau parental.

S et A étant du type cristallin « brique creuse » et non du type « feuillets empilés » comme M, cette dernière ne se forme à partir de ces deux minéraux qu'après leur dissolution. Cette dissolution se produirait avant la transformation de V et de C (tirs « du déversoir »).

La diminution ou la disparition de la calcite indique le degré de lessivage, la plus forte intensité ayant été observée dans le « tirsifié lithochrome ».

En appliquant à la pédogenèse une terminologie employée pour décrire la sédimentation marine [6], nous désignons l'évolution des minéraux

* Dans la présentation des résultats, nous avons renoncé à spécifier les interstratifications, par exemple V-M, C-M, C-V, etc. [10].

par les termes « héritage », « transformation » et « néoformation ». Dans ces sols, le maintien de I et de K est donc le cas d'un héritage inaltéré ; la formation de M par voie d'interstratification, celui d'une transformation ; l'augmentation de M par dissolution de S et A, celui d'une néoformation.

Pour les cas où une comparaison entre matériau parental et sol nous le permet, nous pouvons donc établir une série d'intensité de l'évolution des minéraux argileux croissante : « sol brun humifère » < « sol brun modal » < « sol châtain modal » < « tirsifié Ouled Moussa » < « tirsifié lithochrome ».

Le facteur hydromorphie trop prolongée déterminant le tirs de l'oued Day et le facteur « offre importante de A » déterminant celui du déversoir, ces derniers sols peuvent être difficilement rangés dans cette série.

2. Indications sur l'origine des matériaux parentaux

L'évolution différente des minéraux argileux au cours de la pédogénèse étant connue, nous pouvons en utiliser quelques-uns, principalement K, I, et A + S comme traceurs de l'origine du matériel à partir duquel le sol s'est formé.

a. En partant de l'inertie de K nous pouvons conclure que la « pseudo-rendzine » ne s'est pas formée à partir du tuf calcaire sous-jacent, car il est exclu que K ait augmenté au cours de la formation de ce sol.

b. La stabilité de I nous conduit à attribuer les matériaux parentaux du tirs « oued Day » et du « sol brun humifère » (sols à forte teneur en I) à une source différente de celle de tous les autres sols, qui n'en contiennent que très peu ou pas du tout. Ces deux sols ne proviendraient donc ni d'une roche-mère de l'Eocène, ni du Pliocène, mais plus précisément du Lias, la marne rouge étudiée ayant également une forte teneur en I*.

c. La teneur caractéristique en A et S des marnes blanches de l'Eocène nous permet de « tracer » ces matériaux au cours de la mise en place : tout sol contenant ces deux minéraux est susceptible de s'être formé sur marne de l'Eocène. Pour les Beni Moussa, ce sont les marnes en bordure sud de la plaine, pour les Beni Amir (« sol brun », TABLEAU 4), ce sont les marnes du Plateau des phosphates [4].

* La différence de teneur en C nous interdit d'identifier le matériau parental de ces deux sols avec la marne rouge étudiée. L'étude d'un plus grand nombre de roches-mères nous permettra de préciser l'origine des sols de la plaine.

A la différence de K et de I qui sont des minéraux stables, l'absence de A et de S dans un sol ne permet pas d'exclure une origine eocène : A et S, minéraux peu stables, peuvent avoir disparu au cours de la pédogenèse. En revanche, la présence de ces deux minéraux indique une évolution des minéraux argileux peu intense, ce qui serait le cas pour le tirs « du déversoir ».

3. Caractérisation des paléoclimats du Quaternaire [12].

VILLAFRANCHIEN	Climat de type tropical (climat chimique) : chaud et humide. Limons très calcaires. Pédogenèse d'un type franchement hydromorphe : tuf calcaire blanc-gris très marmorisé (tuf de la « pseudo-rendzine »), ou pseudogley fossile à forte individualisation du fer.
MOULOUYEN	Tendance tempérée à contrastes brutaux. Conglomérats assez tendres, calcaires et caillouteux.
SALÉTIEN	Climat froid et humide. Conglomérats de piedmont.
AMIRIEN	Climat doux et humide, moins chaud qu'au Villafranchien. Limons argileux rouges rarement caillouteux en épandages très profonds, originaires des piedmonts et de la montagne. Individualisation du calcaire en taches crayeuses pulvérulentes (substratum du sol tirsifié « Ouled Moussa »), ou rubéfaction sans ferrugination en milieu non-calcaire (sol tirsifié « lithochrome »).
TENSIFTIEN	Climat de type tempéré mais très contrasté et plus sec qu'à l'Amirien. Epandages limités et principalement remaniements des dépôts amiriens. Individualisation du calcaire sous forme de granules (haut du Tensiftien du sol tirsifié « Ouled Moussa »).
SOLTANIEN	Climat frais et humide. Epandages argileux rouges peu épais sur lesquels se sont développés les sols bruns, châtaîns et tirsifiés pris comme exemples dans notre étude.
RHARBIEN	Le Rharbien étant essentiellement une phase d'alluvionnement fluviale (terrasse), nous attribuons à cette période l'évolution vers la tirsification des limons argileux des oueds El Arich, Day, Ouerna, etc., l'oued El Arich ayant certainement déjà fonctionné au Tensiftien.

A travers toutes les périodes du Quaternaire, nous n'avons observé qu'une seule tendance à l'évolution des minéraux argileux : celle vers la formation de M. Ceci est valable aussi pour les périodes dites « rubéfiantes » de l'Amirien et du Soltanien, pour lesquelles nous n'avons nulle part trouvé une formation de K. Cependant, pour un cas (sol tirsifié « lithochrome »), nous avons observé la formation de goethite.

Tout au plus, le climat plus chaud et humide de ces deux périodes a pu diminuer le degré de cristallisation des minéraux 2:1. Sans doute

le Soltanien est allé moins loin dans ce sens : nous avons pu observer, en bas du profil « Ouled Moussa », qu'une pédogenèse soltanienne qui s'est surimposée sur un matériel tensiftien assez bien cristallisé n'a pas réussi à dégrader sensiblement le degré de cristallisation. Ceci nous fait penser que l'évolution des minéraux argileux n'a pas été très forte au Soltanien.

4. Caractères de la tirsification

Dans le cadre d'une étude générale [5], il a été constaté que la tirsification est liée aux facteurs suivants :

1. présence de Ca^{++} et (ou) Mg^{++} (« Ca ») * ;
2. présence de minéraux argileux gonflants, surtout M (« argile gonflante ») ;
3. « teneur en argile » liée à une « profondeur suffisante » du profil sinon à la « nature du substratum » ;
4. « hydromorphie », « interruption temporaire » de celle-ci et « chaleur » pendant cette interruption.

Les facteurs « Ca » et « chaleur » sont suffisants dans toute la région.

Le complexe absorbant de la quasi totalité des sols marocains est en majorité saturé en Ca et Mg. Il est généralement admis que la température pendant la saison sèche est suffisamment élevée pour provoquer un vertisol dans les zones subtropicales.

Le tirs « oued Day » constitue une exception : avant le drainage actuel, l'« interruption temporaire » n'était pas suffisamment prononcée. C'est ainsi qu'une forme de transition entre un vertisol et un sol hydromorphe s'est développée. Quant aux facteurs « argile gonflante » et « hydromorphie », des différences sont mises en évidence par l'analyse des minéraux argileux, par les conditions climatiques et les observations de terrain. Ces deux facteurs peuvent se compenser dans une certaine mesure et cela seulement pour causer le début d'une tirsification. Ainsi, les résultats du Tadla montrent qu'à condition granulométrique identique une teneur élevée en M compense le facteur « hydromorphie » insuffisant et vice versa, et ceci à cause de la capacité de rétention en eau de M. En considérant la participation différente de ces facteurs, l'intensité et les éléments promoteurs de la tirsification seront discutés dans les exemples étudiés des Beni Moussa.

* Abréviation utilisée dans le texte.

Nous utilisons l'appellation « topomorphe » si « hydromorphie » est le facteur dominant (localité), et « lithomorphe » si la tirsification est conditionnée surtout par la dominance d'« argile gonflante ». Souvent les deux désignations se superposent pour un même tirs. M présente provient alors du matériau parental, soit par transformation à partir de C et V, soit par néoformation à partir de A et S, et ceci avant ou pendant la tirsification.

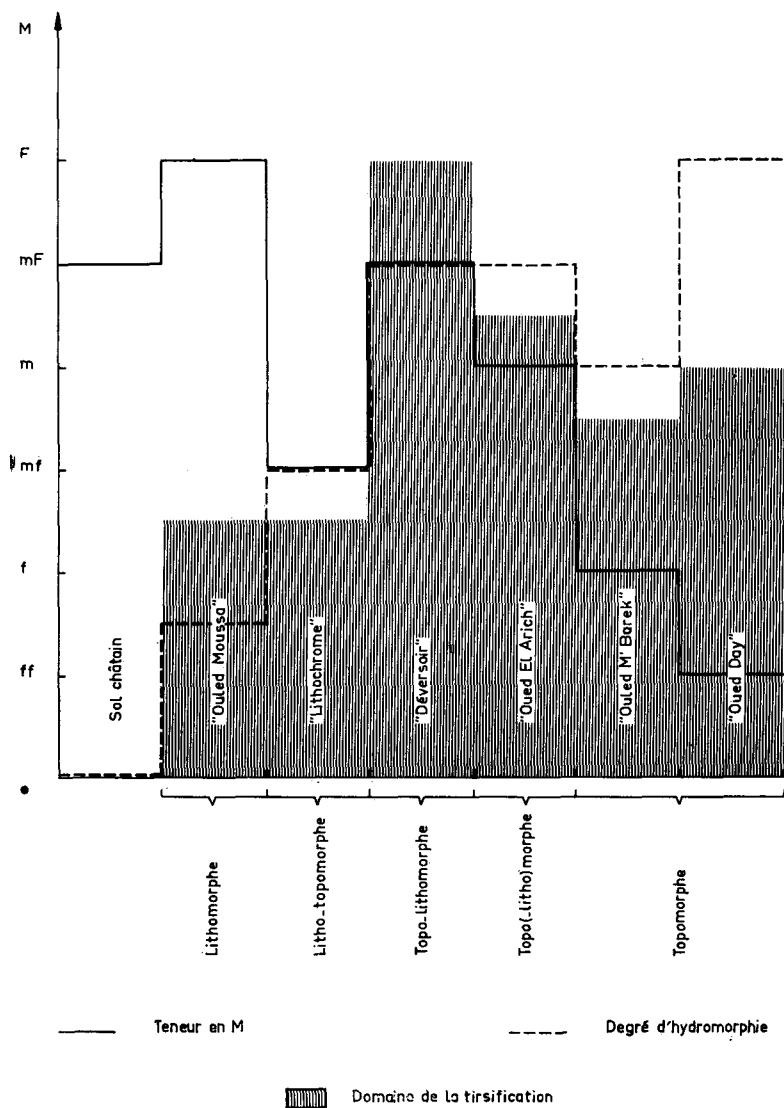
La teneur en M augmente selon l'ordre suivant : tirs « oued Day » < sol tirsifié « Ouled M'Barek » < sol tirsifié « lithochrome » < tirs « oued El Arich » < sol tirsifié « Ouled Moussa » = tirs « du déversoir ». En fonction de l'importance du facteur « hydromorphie », nous devons établir un ordre différent. Les tirs se trouvent dans des sites à hydromorphie plus prononcée que les trois sols tirsifiés et parmi ces derniers ce facteur diminue du « Ouled M'Barek » aux « lithochrome » et « Ouled Moussa ». En ce qui concerne les observations de terrain, le tirs « du déversoir » est le mieux développé ; comparé aux autres tirs étudiés, cela s'expliquerait par sa teneur élevée en M. Ainsi, les deux facteurs « argile gonflante » et « hydromorphie » entrent en jeu. Pour cette raison nous l'appelons tirs « topo-lithomorphe ».

L'intensité de la tirsification dans les tirs « oued El Arich » et « oued Day » est moindre, ce qui serait dû à la teneur en M diminuée. La teneur en M du tirs « oued El Arich » constitue encore un facteur considérable (= tirs « topo(-litho)morphe »), tandis que les conditions tirsifiantes du tirs « oued Day » étaient créées surtout par la topographie (= tirs « topomorphe »). A l'intérieur des sols tirsifiés nous constatons que l'intensité de la tirsification varie selon l'ordre suivant : sol tirsifié « Ouled Moussa » = sol tirsifié « lithochrome » < sol tirsifié « Ouled M'Barek ».

La combinaison des facteurs « faible teneur en M » et « hydromorphie » très marquée, nous permet d'appeler le sol tirsifié « Ouled M'Barek » « topomorphe ».

Les sites plus secs, et à cause de cela moins favorables à une tirsification des sols tirsifiés « lithochrome » et « Ouled Moussa », sont caractérisés par « hydromorphie » décroissante. Toutefois, « Ouled Moussa » est aussi fortement tirsifié que « lithochrome ». Apparemment l'hydromorphie décroissante est restée sans effet. Afin de pouvoir expliquer cela nous examinons les facteurs « nature du substratum », « teneur en argile » et « argile gonflante ». Le substratum du sol tirsifié « Ouled Moussa » est constitué par un tuf argileux à taches à forte rétention d'eau, tandis que celui du sol tirsifié « lithochrome » est formé de galets dont la capillarité assure le drainage du profil. Le sol tirsifié « Ouled Moussa » contient plus d'argile [9] et nettement plus de M. Ce sont donc ces trois facteurs-

Schéma de l'influence des facteurs « argile gonflante » et « hydromorphie » sur l'intensité de la tirsification



là qui favorisent la tirsification par un renforcement de « hydromorphie ». Ainsi le sol tirsifié « lithochrome » serait « litho-topomorphe », tandis que le sol tirsifié « Ouled Moussa » serait à appeler « lithomorphe » *. En nous basant sur les caractères dominants étudiés ci-dessus, nous avons établi la séquence suivante :

Tirs « oued Day »	« topomorphe »
Sol tirsifié « Ouled M'Barek »	« topomorphe »
Tirs « oued El Arich »	« topo(-litho)morphe »
Tirs « du déversoir »	« topo-lithomorphe »
Sol tirsifié « lithochrome »	« litho-topomorphe »
Sol tirsifié « Ouled Moussa »	« lithomorphe »

Dans cette séquence le facteur déterminant pour la tirsification va de « hydromorphie » à « argile gonflante ». En ce qui concerne l'intensité de la tirsification nous constatons que celle-ci croît du tirs « oued Day » au tirs « du déversoir » pour décroître ensuite. Ces six exemples nous ont montré que la formation des vertisols dans les Beni Moussa est favorisée le plus là où « hydromorphie » et « argile gonflante » sont présentes dans un certain équilibre : une forte teneur en M ne se substitue pas à une hydromorphie défaillante (sol châtain) et vice versa.

Dans la zone de piedmont, ainsi que dans les vallées des oueds (affluents de l'oued Oum Er Rbia), les facteurs « Ca » et « teneur en argile » étant acquis, nous pourrions représenter l'action conjointe d'« argile gonflante » et d'« hydromorphie » par l'image suivante : M serait le moteur et « hydromorphie » serait l'essence. Il n'y a de vertisol bien développé que si les deux participants sont présents. Au fur et à mesure que l'un ou l'autre décroît la tirsification est freinée pour être stoppée entièrement au moment où l'un des deux facteurs n'apparaît plus.

CONCLUSIONS

L'étude succincte de quelques sols rencontrés dans la plaine des Beni Moussa, en fonction de l'évolution des minéraux argileux liée aux conditions de pédogenèse, nous a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

* Sol appelé lithomorphe bien que le pédologue qui s'attache aux observations du terrain se refuserait, dans le cas particulier des sols « Ouled M'Barek » et « Ouled Moussa » par exemple, à parler pour l'un de « topomorphe » et pour l'autre de « lithomorphe » alors que ces sols sont formés sur un même épandage et que les pédogenèses varient seulement en intensité.

1. Les évolutions des minéraux argileux que nous avons pu observer vont toutes dans le sens formation de la montmorillonite au détriment de l'attapulгите, la vermiculite et la chlorite ; la kaolinite et l'illite restant stables. Toutefois une pédogenèse assez intense observée par le pédologue ne se reflète pas forcément par une évolution des minéraux argileux de même intensité.

2. Le comportement caractéristique des minéraux argileux nous a amené à établir pour certains cas le rapport matériau parental/sol :

- l'augmentation de la kaolinite étant exclue, nous avons pu conclure à deux apports indépendants lors de l'observation de teneurs différentes dans le substratum et dans le sol (« pseudo-rendzine ») ;
- la stabilité de l'illite nous fait isoler deux sols de tous les autres et les attribuer à un matériau parental différent, dont nous avons reconnu un élément de leur origine (cas des tirs « oued Day » et « sol brun humifère ») ;
- la présence de l'attapulгите et de la sépiolite (minéraux typiques des marnes blanches de l'Eocène) trace les matériaux au cours de leur mise en place. De plus, le maintien de ces deux minéraux peu stables fait conclure à leur faible évolution.

3. Bien que des phénomènes pédologiques très différents aient été produits par les climats contrastés qui se sont succédés au Quaternaire, la tendance générale de l'évolution des minéraux argileux a été la formation de la montmorillonite.

4. Dans des conditions de tirsification comparables, le facteur « hydro-morphie topographique » peut compenser dans une certaine mesure le facteur « argile gonflante » et vice versa sans pouvoir s'y substituer. Ceci nous a amené à établir parmi des sols vertisoliques une subdivision partant d'un vertisol « topomorphe » et aboutissant à un vertisol « lithomorphe ». Cet essai de caractérisation des différentes évolutions constatées dans les sols étudiés montre dans quelle mesure l'analyse minéralogique peut contribuer dans un travail d'équipe à une meilleure compréhension des phénomènes de la pédogenèse.

ملخص

يدرس المؤلفون ابتداءً من الأحجار البحرية والرسوبية التي استنتجت، تحرك المعادن الصلصالية لأراضي ابن موسى وتخصيص مقتضياتها مع الأخذ في الحسبان بمختلف لتأثيرات التي سجلت حركة الأرض. والأمثلة المفصلة كانت قد اختيرت في وظيفة توزيعاتها في السهل، ودرس علماء المعادن أكثر خصوصاً ظاهرة «تشكيل تيرس»

RÉSUMÉ

A partir des roches-mères et des sédiments qui en ont résulté, les auteurs ont étudié l'évolution des minéraux argileux des sols des Beni Moussa et caractérisé leur comportement en tenant compte des différentes influences ayant marqué la pédogenèse. Les exemples mentionnés ont été choisis en fonction de leur répartition dans la plaine, les minéralogistes étudiant plus spécialement le phénomène de la « tirsification ».

RESUMEN

Los autores han estudiado la evolución de los minerales arcillosos de los suelos de Beni Amir basándose en las rocas madres y en los sedimentos que resultaron de ellas. Caracterizan su comportamiento tomando en consideración las diferentes influencias que han marcado su pedogénesis. Los ejemplos mencionados fueron escogidos según su situación en la llanura, dedicándose más particularmente los mineralogistas a estudiar la formación de los suelos negros de algodón.

SUMMARY

From parent rocks, and sediments which result from them, the authors study the evolution of clay minerals in Beni Moussa soils and they describe their behaviour, taking into consideration the various influences affecting the pedogenesis in this region. The examples here mentioned are chosen in terms of their localization in the plain, the mineralogists having centered their interest on vertisols.

BIBLIOGRAPHIE

1. AUBERT, G. — 1963. Classification pédologique utilisée par les pédologues français. — Conf. Avril 1963, ronéotypé, diffusion limitée, Rabat.
2. DROSTE, J.B., N. BHATTACHARYA & J.A. SUNDERMAN — 1962. Clay mineral alteration in some Indiana soils. — 9th Nat. Conf. Clays and Clay Min., New York, pp. 329-342.
3. GRIM, R.E. — 1953. Clay Mineralogy, McGraw Hill, New York.
4. HESS, C., M. ICOLE & U. SCHOEN — 1964. Aspects minéralogiques de quelques pédogenèses en Haute Chaouia (en préparation).
5. HESS, C. & U. SCHOEN — Les principaux facteurs déterminants la tirsification et la classification des vertisols. Une contribution de l'analyse des minéraux argileux à la connaissance des tirs (en préparation).
6. LUCAS, J. — 1963. La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etudes sur les argiles du Trias. — Thèse, Strasbourg.
7. MAIGNIEN, R. — 1961. Sur les sols d'argiles noires tropicales d'Afrique occidentale. — Bull. Ass. Franç. Et. du Sol, Paris, pp. 131-144.
8. MILLOT, G., P. ELOUARD, J. LUCAS & M. SLANSKY — 1960. Une séquence sédimentaire et géochimique de minéraux argileux : montmorillonite, attapulgitite et sépiolite. — Bull. Gr. Franç. Arg., Paris, **12**, p. 77.
9. MISSANTE, G. — 1963. Les sols du Tadla et leur répartition schématique au 1/500 000^e. — Al Awamia, Rabat, **9**, pp. 155-190.
10. ORTELLI, L. & U. SCHOEN — Remarques au sujet de la détermination de la composition minéralogique des argiles. — Al Awamia, Rabat, **10**, pp. 97-113.
11. SIEFFERMANN, G. — 1959. Premières déterminations des minéraux argileux des sols du Cameroun. — Rapport ronéotypé, P. 99. IRCAM, Yaoundé.
12. WILBERT, J. — 1961. Le quaternaire dans les Doukkala. — Notes marocaines, Rabat, **16**, pp. 5-30.