

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre de Brazzaville

SERVICE PEDOLOGIQUE

ALTERATION DES MICAS EN ZONE FERRALLITIQUE
MASSIF DU CHAILLU
REPUBLIQUE POPULAIRE DU CONGO

A. NOVIKOFF

Cote M. C. 169

Décembre 1970

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE BRAZZAVILLE

SERVICE PEDOLOGIQUE

ALTERATION DES MICAS EN ZONE FERRALLITIQUE

MASSIF DU CHAILLU

REPUBLIQUE POPULAIRE DU CONGO

A. NOVIKOFF.

Cote ORSTOM : MC 169.

Brazzaville, décembre 1970.

I N T R O D U C T I O N

Lors de l'étude de l'altération des roches éruptives micacées, il a été remarqué que sur la plupart des diffractogrammes de rayons X apparaissent des petits pics situés entre 12 et 14 Å, qui s'écrasent plus ou moins bien à 10 Å au chauffage (4 heures à 490°) et ne bougent pas à l'éthylène glycol. On trouve là les caractères de vermiculite signalée par DELVIGNE (1965) en Côte d'Ivoire. Cette question étant étudiée à Strasbourg par Monsieur TARDY et son équipe, lors de mon passage dans leur laboratoire il m'a été possible d'analyser ~~les~~ échantillons.

I. TECHNIQUES D'ETUDE

1.) Séparations

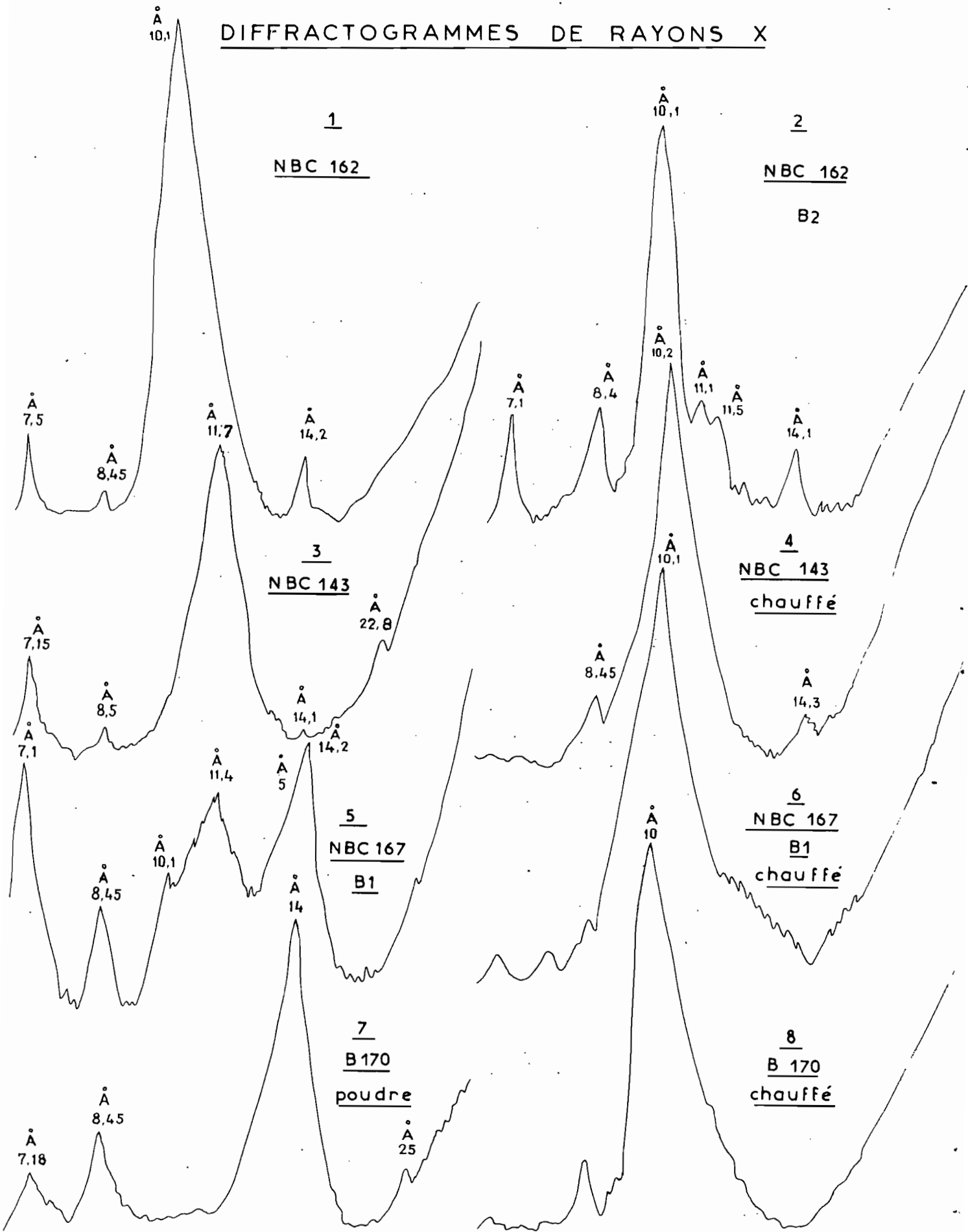
Après broyage de la roche, les sables, calibrés par tamisage, sont passés au séparateur magnétique FRANTZ. Dans certaines fractions riches en minéraux ferro-magnésiens, la hornblende parasitant considérablement les diagrammes de rayons X, il a été nécessaire de continuer les séparations sous la loupe binoculaire, ce qui n'a pu être fait que pour les sables dont la taille dépassait 1 mm. Cette façon de procéder a permis de réaliser des séparations fines, basées sur le changement de teinte des micas dont les couleurs s'éclaircissent au fur et à mesure que l'altération progresse. Les quantités obtenues ont toujours été trop faibles pour pouvoir faire des analyses chimiques.

2.) Etudes minéralogiques

La méthode la plus utile, celle de diffraction des rayons X, a été constamment employée. Les diagrammes les plus nets ont été obtenus sur lames orientées, selon la méthode de la pâte lissée.

Les observations au microscope optique, en lumière naturelle, ont permis de constater que les biotites et les chlorites s'altèrent en palissant dans les premiers stades d'altération. Le passage à la kaolinite est souvent bien visible.

DIFFRACTOGRAMMES DE RAYONS X



II. ALTERATION DE LA BIOTITE

1.) Observations microscopiques et minéralogiques

- roches saines -

Au microscope optique, on remarque que dans la plupart des échantillons, la biotite est partiellement chloritisée. La quantité du deuxième minéral paraît toujours faible au regard du premier.

Cette observation est confirmée par les diffractogrammes de rayons X, planche 1, n° 1. Ce type de courbe se retrouve à peu près identique dans tous les cas de granodiorites et diorites.

- évolution vers la vermiculite -

Dès le début de l'altération, en lumière naturelle, les biotites deviennent brun-rouge.

Aux rayons X, on note l'apparition d'une petite quantité d'interstratifié biotite - vermiculite ou 10 - 14 V ou hydrobiotite.

Au normal on observe des pics situés entre 11 et 11,5 Å. Le pic à 10 Å de la biotite reste important, celui de la chlorite à 14,2 Å ne varie pas. Pas de variation au glycolage, au chauffage, ne subsistent plus que les pics à 10 et 14 Å pl. n° 1, n° 2 NBC 162 B2.

Au fur et à mesure que l'altération progresse, la biotite devient plus pâle en lumière naturelle, tout en restant dans les bruns, la biréfringence est élevée.

Le pic à 10 Å disparaît, celui proche de 12 augmente jusqu'à devenir seul visible, il masque souvent celui à 14 Å. Le stade hydrobiotite est atteint, caractérisé par le non gonflement au glycolage et l'écrasement du pic majeur à 10 Å. C'est un stade transitoire dans la transformation de la biotite, un interstratifié biotite - vermiculite, présentant un certain ordre. Deux raies sont en général bien visibles, l'une entre 22 et 24 Å, l'autre vers 3,42 Å, pl. 1, n° 3 et 4, NBC 143.

Cet interstratifié évolue vers la vermiculite, l'échantillon B 223 a un pic majeur à 13,4 Å qui s'écrase à 10,1 Å au chauffage. Dans certains cas on arrive à une vermiculite typique, pl. 1, n° 7 et 8, B. 170. Un seul grand pic à 14 Å est visible qui passe à 10 Å au chauffage. Au normal, le pic à 7,1 Å est faible. La présence d'un petit pic à 25 Å semble indiquer que le pic à 14 masque une petite quantité d'interstratifié 10 - 14 V. Macroscopiquement, les micas sont "mordorés".

En fait on observe souvent une association biotite - interstratifié 10 - 14 V, vermiculite, pl. 1, n° 5 - 6, NBC 167, B1. Le pic à 7,1 est important plus important qu'il ne faudrait pour la vermiculite. En l'absence de chlorite, une grande partie de ce pic est à attribuer à de la kaolinite. Cette intrication des différents stades d'évolution s'explique facilement grâce à l'observation microscopique qui montre la présence de lamelles sombres à fortes biréfringences à côté de lamelles transformées en kaolinite. Les mêmes variations sont visibles à l'intérieur d'une même lamelle, la partie la moins altérée se trouvant en son centre. Donc quelque soit la valeur du tri il sera difficile d'isoler les différents minéraux apparaissant lors de la progression de l'altération.

- autres types d'évolution -

Dans un certain nombre de cas, ensemble des diagrammes de la planche n° 2, il a été constaté que les échantillons chauffés ne s'écrasent pas complètement à 10 Å, ceci malgré des temps de chauffage atteignant 10 heures à des températures de 500°. Il y a donc formation de minéraux à propriétés intermédiaires entre la vermiculite et la chlorite. Le fait que le pic principal se déplace vers 10 Å au chauffage indique qu'il ne s'agit pas d'une chlorite.

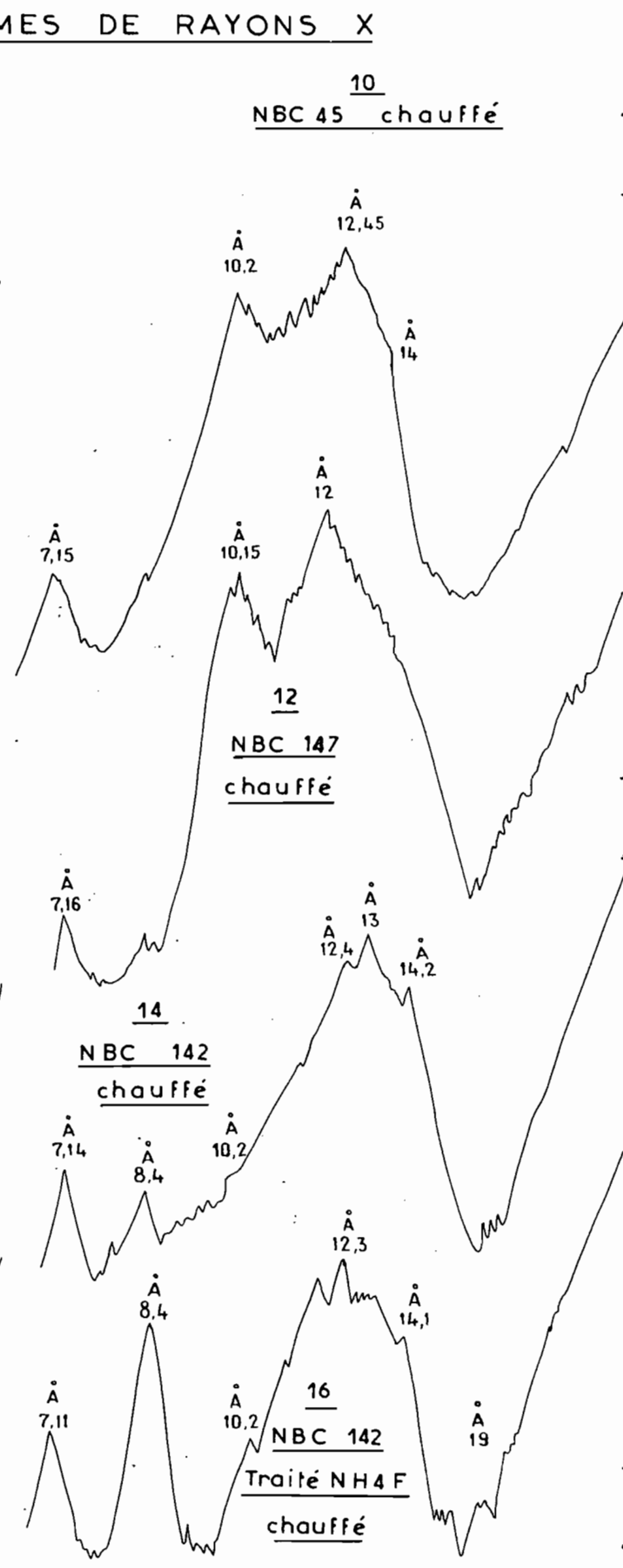
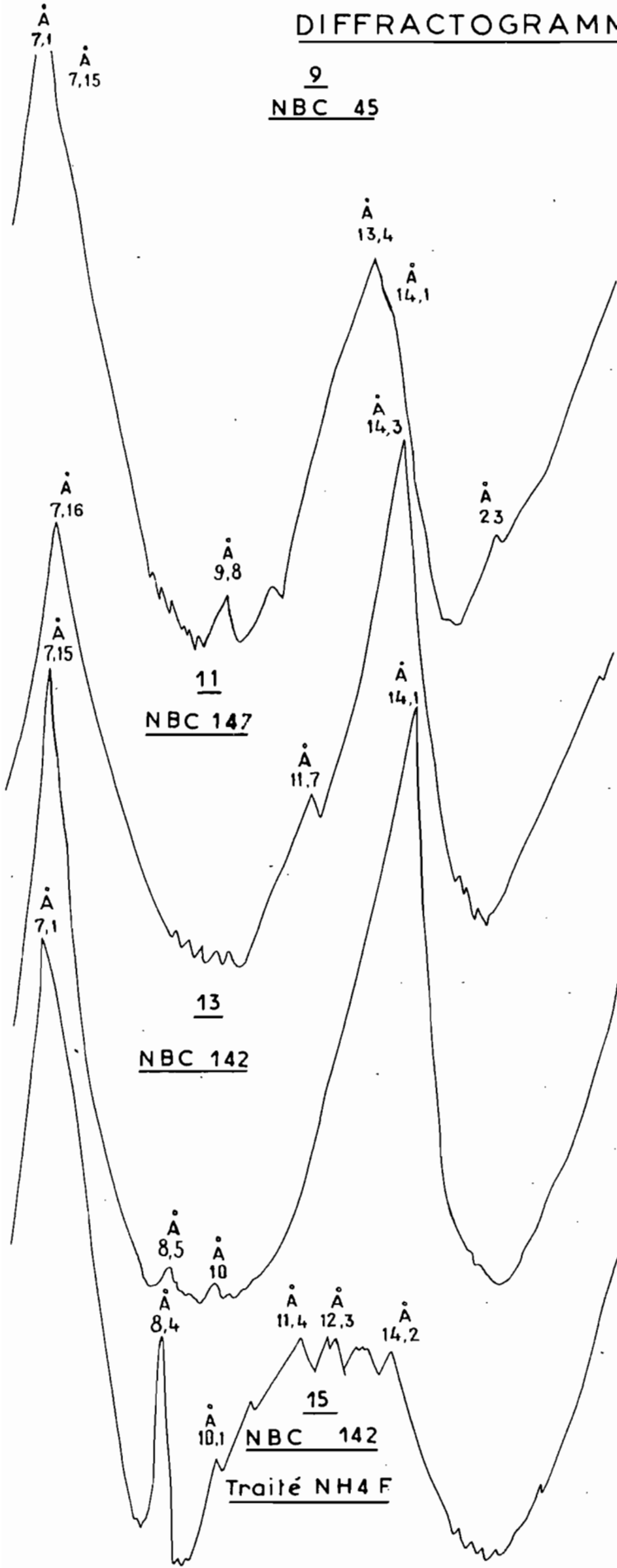
Il semble que l'on ait à faire à ce que différents auteurs ont appelé Chlorite Al ou Vermiculite Al. On trouve dans ARNOLD (1966) et surtout TARDY (1969) une bibliographie très complète sur la question.

RICH (1966), GAC (1968) ont observé que des échantillons de ce type, traités par NHuF/N après une ébullition de 5 minutes retrouvaient les propriétés de vermiculite.

DIFFRACTOGRAMMES DE RAYONS X

9
NBC 45

10
NBC 45 chauffé



Les diagrammes 9 - 10, 11 - 12, 13 - 14, planche n° 2 montrent qu'au chauffage apparaît toujours un pic à 10, parfois très faible : vermiculite. Il subsiste souvent un pic à 14 qui ne semble pas être une vraie chlorite car le pic à 7,1 est très faible. Entre 10 et 14 apparaissent des pics souvent majeurs.

Le traitement à NHuF/N renforce le pic à 10 et déplace le pic majeur qui était à 13 vers 10. Le pic à 8,45 de la hornblende est renforcé, une partie du matériau micacé a été détruit par le traitement. Le pic à 14 reste relativement important. Le chauffage de l'échantillon traité fait apparaître un pic majeur à 12,4. Dans ce cas le traitement n'est pas concluant.

Dans le cas des diagrammes 17, 18, 19 et 20 de la planche n° 3, les choses se passent différemment. Le chauffage montre qu'il existe une quantité assez importante de vermiculite, le pic à 14 est plus faible que celui à 10, entre les deux on observe un moutonnement de pics. Le traitement à NHuF/N fait ressortir un pic majeur à 10 ouvert vers 14,3, le chauffage de cet échantillon affine le pic à 10 tout en faisant ressortir un petit pic à 12 et à 14, nettement inférieur à celui observé dans le cas de l'échantillon non traité, chauffé.

Le traitement au fluorure d'ammonium a donc mis en évidence la présence de vermiculite. Le pic à 14 Å, compte-tenu du pic à 7,1, peut être attribué à de la chlorite. Le pic à 12 est plus difficile à interpréter: traitement insuffisant, la faible quantité de micas disponibles a rendu le broyage impossible. Les lamelles étant trop grandes, l'enlèvement d'Al a pu être incomplet. S'agit-il de montmorillonite Al? Le traitement à NHuF/N devrait être efficace, de montmorillonite à K échangeable? BROWN (1961), le traitement à l'éthylène glycol ne provoque pas ~~sembl~~ il de gonflement significatif.

WEED et NELSON (1962) estiment que Fe peut jouer le même rôle qu'Al tout en étant plus solidement fixe. Il se pourrait que ce soit le cas.

Grâce à de nouveaux prélèvements effectués ces derniers temps, il sera sans doute possible d'obtenir suffisamment de matière pour pouvoir faire le maximum de tests permettant de reconnaître avec certitude les corps formés.

DIFFRACTOGRAMMES DE RAYONS X

17

NBC 147

11,2

18

NBC 147 chauffé

7,15

8,45

10,1

10,1

8,4

7,12

14

19

NBC 167
traité NH4F

8,5

7,1

14,3

20

NBC 167
traité NH4F
12Å chauffé

8,45

12Å

14

7,12

21

NBC 143 poudre

(3)

22

B 170

7,15

7,16

11,6

12,5

14

14,4

18

23

NBC 142

9,05

10

13,9

19,5

24

NBC 142
chauffé

7,115

10

12

14

17

- passage à la kaolinite -

Quels que soient les stades intermédiaires atteints dans les cas étudiés, le terme ultime de l'évolution, est la kaolinite.

La kaolinisation se traduit par une décoloration, souvent centripède, des lamelles de micas, on obtient des minéraux translucides, feuilletés, rappelant la muscovite mais beaucoup plus fragiles : "micas laiteux", souvent rencontrés dans les divers faciès d'altération du granite.

Les diagrammes de la planche n° 2 montrent tous des pics à 7,10 - 7,15 anormalement forts pour de la vermiculite; comme ils disparaissent presque complètement au chauffage, il est logique de les attribuer en grande partie à de la kaolinite. Le passage des micas à ce minéral se fait par l'intermédiaire de la vermiculite ou de la vermiculite - Al sans que l'on décele des intermédiaires nouveaux.

Aucune surstructure nette ne permet d'affirmer l'existence d'interstratifié vermiculite - kaolinite. Dans le cas des diagrammes 21, 22, 23, 24 de la planche n° 3 de grandes lamelles ont été isolées et étudiées.

NBC 143 n° 21; il s'agit de micas beaucoup plus altérés que ceux étudiés précédemment n° 3, pl. 1. La transformation en kaolinite se fait sans que l'on arrive à la formation de vermiculite typique. Il semble que la partie vermiculite de l'interstratifié biotite - vermiculite se transforme très vite en kaolinite. Il faut noter qu'au chauffage l'interstratifié s'écrase à 10 Å.

B 170, n° 22 : la kaolinite se forme à partir de vermiculite dont le pic est nettement dissymétrique et ouvert vers 10 Å. Le très petit pic à 10 Å doit correspondre à une faible quantité de séricite ou d'illite.

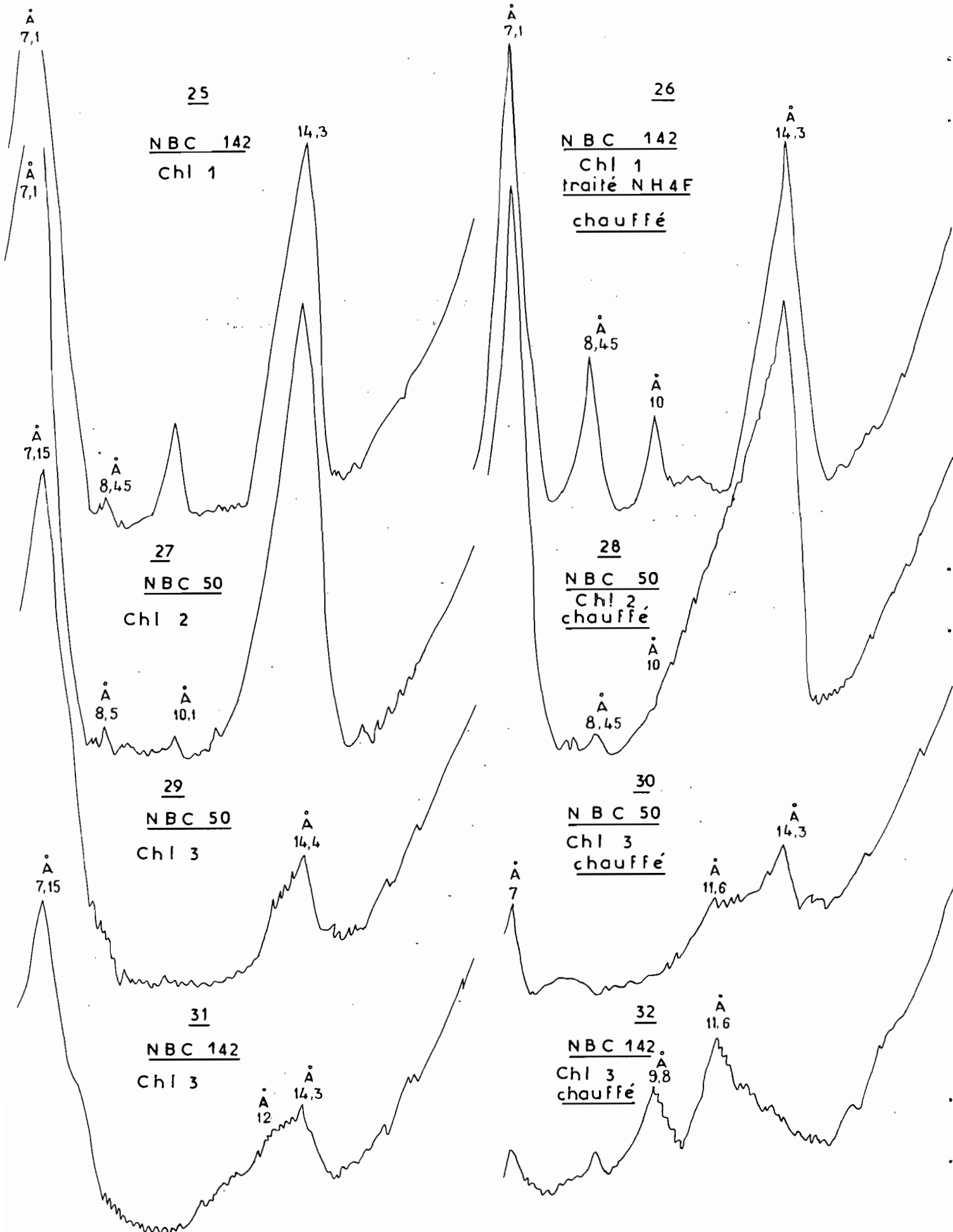
NBC 142, n° 23 - 24.

Le passage à la kaolinite se fait par le biais d'un minéral à 14 Å qui résiste partiellement au chauffage, on aurait là l'étape transitoire de TARDY (1969).

Donc dans les différents cas examinés ici, la kaolinite se forme après passage par des stades intermédiaires de vermiculite et vermiculite Al, il semble que le passage par ce dernier minéral n'est pas une étape obligatoire.

L'observation des diagrammes n'a pas permis de trouver des surstructures nettes, ce qui ne veut pas dire qu'elles n'existent pas. On note dans certains cas de petits pics ou bombement vers 20 Å qui seraient peut être l'indice d'une interstratification kaolinite - vermiculite

DIFFRACTOGRAMMES DE RAYONS X



III. ALTERATION DE LA CHLORITE.

La transformation de ce minéral n'a pas pu être suivie avec autant de soin que pour la biotite. D'une part par manque de matériel, les roches riches en chlorite sont rares dans la zone étudiée, d'autre part il est très difficile de la reconnaître à la loupe binoculaire dans les derniers stades d'altération.

- roches saines -

La chlorite saine a été trouvée dans divers échantillons, elle est particulièrement bien visible dans les pegmatites intrabatholitiques du massif du Chaillu, malheureusement dans ce cas il n'a pas été possible de suivre son évolution. Celle qui a été étudiée provient de diorite, pl. n° 4, n° 25 et 26, elle contient une petite quantité de biotite et hornblende.

Des essais de résistance à NHuF/N et au chauffage montrent que le pic à 14 \AA ne bouge pas, celui à $7,1 \text{ \AA}$ diminue tout en restant supérieur au premier.

- début de l'altération -

Le début de l'altération est marqué par le fait que le minéral pâlit. Aux rayons X, pl. n° 4, 27 et 28, on constate qu'au normal, il n'y a pas de variations par rapport à l'échantillon sain. Au chauffage le pic tout en restant à 14 \AA s'ouvre nettement vers les 10 \AA ce qui indiquerait une tendance à la formation de vermiculite.

- transformation en kaolinite -

Au stade suivant qui correspond à la kaolinisation, la chlorite n'est pratiquement pas reconnaissable car complètement ferruginisée, compte-tenu de l'existence de biotite altérée, il peut y avoir doute sur son origine. Les nombreuses observations à la loupe binoculaire semblent indiquer qu'il s'agit bien de chlorite altérée.

Les diagrammes de rayons X, pl. 4, n° 29 et 31, montrent que le pic à 14 \AA subsiste, il est peu important et ouvert vers le 10 \AA .

Au chauffage, pl. 4, n° 30 et 32 des pics situés vers 12 \AA s'individualisent. Dans le premier exemple, il subsiste un pic à 14 \AA : chlorite ou vermiculite - Al. Dans le deuxième, outre le pic à $11,6 \text{ \AA}$, apparaît un pic à 10 \AA , il y a donc avec certitude formation de vermiculite. Les quantités trop faibles d'échantillons n'ont pas permis d'effectuer des traitements au NHuF/N .

- conclusion -

Dans le cas d'altération des chlorites, les phénomènes de vermiculitisation sont moins nets que pour les biotites, mais ils existent. En l'absence d'essais particuliers, il n'est pas possible d'affirmer l'existence de vermiculite - Al, mais il est probable que celle-ci se forme : car on note aux rayons X, sur des échantillons chauffés, l'apparition de pics situés entre 10 et 14 \AA . Par ailleurs le milieu dans lequel la chlorite évolue est identique à celui où se forme de la vermiculite - Al à partir de biotite.

Comme précédemment, il n'est pas possible d'affirmer l'existence d'interstratifiés vermiculite - kaolinite avant le passage à la kaolinite.

IV. CONDITIONS DE FORMATION DE LA VERMICULITE, DE LA VERMICULITE Al ET
DE LA KAOLINITE

Dans tous les cas observés, la biotite évolue vers l'hydrobiotite, ce phénomène a été souvent décrit en zone tempérée, le stade de vermiculite pure est rarement atteint, il a été trouvé dans le cas de B 170 en bas de pente, dans un milieu toujours humide, mais non confiné.

Ce type d'évolution a souvent été signalé, JACKSON et Coll. (1948 - 1952, 1954, 1959) dans MILLOT (1964), TARDY (1969). Le mécanisme de formation a été décrit par ces auteurs : lessivage des bases, K et Mg, oxydation du Fe^{2+} en Fe^{3+} et parfois passage de l'aluminium des tétraèdres dans les lacunes des octaèdres, créés par le départ du magnésium, TARDY (1969).

La formation des minéraux plus résistants du type vermiculite - Al a toujours été observée dans un milieu où se forment des allophanes donc en présence d'alumine amorphe, milieu humide à percolation lente. L'étude des différents stades d'altération des roches englobant les micas montre que le départ des bases et de la silice est assez rapide. Les minéraux de néoformation qui apparaissent sont dans l'ordre, la gibbsite en faible quantité, puis l'halloysite mêlée à de la kaolinite, ces minéraux apparaissent après la formation de vermiculite Al qui naît dans un cadre où des quantités importantes d'aluminium sont disponibles. L'Al interfoliaire qui s'est fixé sur la vermiculite proviendrait donc du milieu externe. Cette vermiculite ou vermiculite Al se transforme en kaolinite,

Le mécanisme de ce phénomène a été décrit par TARDY et GAC (1968), TARDY (1969) à partir d'un schéma de JACKSON (1965).

- Formation d'une couche hexacoordonnée d'aluminium dans l'espace interfoliaire dont une partie provient des tétraèdres du mica.

- Fixation de silice, provenant des feuillets micacés, hydrolysés et du milieu dans lequel évolue le mica, sur la couche d'aluminium. Il y a formation de kaolinite.

Le schéma proposé par ces auteurs permet d'expliquer que la kaolinite se forme en conservant les formes du mica, on arrive à ce que TARDY (1969) a appelé " une néoformation par addition, dans un minéral soumis aux soustractions d'un milieu lessivant".

Le passage à la kaolinite se ferait donc toujours en passant par une phase d'aluminisation de l'espace interfoliaire, ceci a effectivement été observé dans un certain nombre de cas, pl. 3, n° 23. Il est possible que là où il n'a pas été vu avec certitude, cela tienne au fait que cette phase est extrêmement fugace. De toute façon on remarque sur les diffractogrammes de rayons X qu'il subsiste pratiquement toujours un petit bombement entre 10 et 14 Å, qui serait peut être la trace de cette vermiculite Al.

Ce qui a été dit ci-dessus pour la biotite paraît être valable pour la chlorite. L'impossibilité de traiter les échantillons par NH_4^+/V ne permet pas d'affirmer avec certitude, l'apparition de vermiculite Al mais son évolution dans un milieu à allophanes et l'apparition de pics s'écrasant incomplètement à 10 Å au chauffage font que les probabilités de son existence sont grandes. La formation d'interstratifiés kaolinite - vermiculite n'a pas été décelée avec certitude.

C O N C L U S I O N

L'étude d'échantillons de biotites et chlorites provenant du massif du Chaillu montre que les phénomènes observés en zones tempérées existent en zone équatoriale. L'apparition de vermiculite et vermiculite Al se transformant en kaolinite est un phénomène général, observé sur des échantillons prélevés à plusieurs centaines de kilomètres de distance. La durée de vie de ces minéraux est variable, parfois très brève, le passage micas, kaolinite se fait en 4 à 5 centimètres, elle est souvent plus importante et on trouve des micas incomplètement altérés jusqu'à 50 centimètres, rarement plus, au-dessus de la roche saine. L'apparition de montmorillonite n'a pas été observée, cela tient à la rareté des zones à milieu confiné. De nouveaux prélèvements ont été faits, qui permettront peut être, de résoudre les problèmes restés en suspens.

B I B L I O G R A P H I E

- ARNOLD, (P.W.) 1966 - The behaviour of layer silicates in soils and
sédiments.
Chem. Industry, n° 48, pp. 2003 - 2006.
- BROWN, (G.) 1961 - The X - Ray identification and crystal structures
of clay minerals.
Min. Soc. London. 544 p.
- DELVIGNE, (J.) 1965 - Pédogenèse en zone tropicale. La formation des
minéraux secondaires en milieu ferrallitique. Mém.
ORSTOM, n° 13. DUNOD, 117 p.
- GAC, (J.Y.) 1968 - Les altérations de quelques roches cristallines des
Vosges. Etude minéralogique et géochimique.
Thèse 3° cycle, Fac. Sci. Strasbourg, 77 p.
- JACKSON, (M.L.) 1965 - Clay transformation in soil genesis during the
quaternary. Soil. Sci., 99; pp. 15 - 22.
- MILLOT, (G.) 1964 - Géologie des argiles. MASSON,
PARIS, 499 p.
- RICH, (C.I.) 1966 - Concentration of dioctahedral mica and vermiculite
using a fluoride solution. Clays an clay Min, n° 14.
- TARDY, (Y.) et GAC (J.Y.) 1968 - Les minéraux argileux dans quelques sols
et arènes des Vosges cristallines. Présence de
vermiculite Al. Hypothèse de la néoformation des
vermiculites et montmorillonites.
Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr. 21, 4, pp. 285-
304.
- TARDY, (Y.) 1969 - Géochimie des altérations. Etude des arènes et des
eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et
d'Afrique.
Thèse Fac. Sci., Strasbourg. Arch. orig. Centre
Documentation. CNRS n° 3555 - 274 p.
- WEED, (S.B.) et NELSON, (L.A.) 1962 - Occurrence of chlorite - like inter-
grade clay mineral in coastal plain, piedmont, and
mountain soils of North Carolina.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26,4, pp. 393 - 398.