

## ÉVOLUTION MINÉRALOGIQUE DES SOLS DU BRÉSIL : PROCESSUS D'ALTERATION PÉDOGÉNÉTIQUES ET IMPACTS ANTHROPIQUES

par Vanessa Thoma **BERTOLAZI**

Jacques **Ranger**<sup>1</sup>. – Le travail de thèse de Madame Vanessa Thoma **BERTOLAZI**, intitulé « *Evolution minéralogique des sols du Brésil : processus d'altération pédogénétiques et impacts anthropiques* » a pour objectif d'étudier, d'une part les processus géochimiques et minéralogiques de la formation des sols en climat tropical, sur deux types de roches, le basalte et le gneiss, et, d'autre part, l'impact de l'agriculture sur l'évolution du sol.

L'étude a été conduite dans le cadre d'une thèse en co-tutelle entre l'Université Fédérale de l'État de Rio Grande Do Sul (Brésil) et l'Université de Poitiers (France).

La thèse repose sur l'observation *in situ*, pour le volet formation des sols, sur l'étude de trois profils d'altération des basaltes (2) et gneiss (1) allant de la roche solide au sol, et, pour le volet impact des activités humaines, sur l'étude des sols dans un dispositif agronomique de longue durée où la variable manipulée est l'intensité du pâturage.

Elle est organisée en trois chapitres correspondant à une investigation bibliographique détaillée des deux thèmes abordés, puis aux résultats obtenus sur ces derniers.

Le chapitre bibliographique présente parfaitement le contexte géologique, climatique et pédologique de l'état de Rio Grande Do Sul, ainsi que la relation entre intensification des pratiques agricoles et évolution des sols.

La partie du projet concernant la formation des sols sur basalte et gneiss concerne des situations géographiques dispersées, mais tout à fait analogues de climat (température moyenne d'environ 20°C et pluviométrie d'environ 1525mm), autorisant des comparaisons très intéressantes.

Les sols développés sur basalte sont de type Hapludolls avec pour l'un d'entre eux une tendance verticale. Ils sont riches en carbone, ont un pH très légèrement acide, neutre ou légèrement alcalin, ont une CEC élevée et sont eutrophes. Le sol développé sur gneiss de type Rhodic Paleudult est moins riche en carbone, plus acide (4 < pH < 5) et désaturé, mésotrophe à oligotrophe, alors très riche en Al échangeable.

Les altérites de basaltes riches en pyroxènes, plagioclases, orthoclases et quartz, conduisent à la présence de minéraux secondaires argileux 2:1, de kaolinite et d'oxydes de fer. Les minéralogies des deux sols sur basaltes diffèrent par la présence de réflexions intenses de minéraux 2:1 de type smectite et l'absence de kaolinite dans les horizons A et B du sol de São Borja, par rapport au profil Taquara, où la kaolinite domine par rapport aux minéraux 2 : 1 également de type smectite, minéraux qui décroissent vers la surface du sol. Le profil sur gneiss est riche en kaolinite et en quartz mais un minéral 2 : 1 de type mica/illite apparaît dans la saprolite, disparaissant cependant dans le sol superficiel.

Les trois indices d'altération calculés ( $\Delta 4Si$ ;  $R^{3+} / (R^{3+} + R^{2+} + M^+)$ ; CIA) convergent pour indiquer une progression du degré d'altération du bas vers le haut du profil. Toutefois dans les basaltes, le profil Taquara montre un degré d'altération plus avancé que celui de São Borja. Le degré

---

<sup>1</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, Directeur de recherche honoraire à l'INRA Nancy.  
Copyright Académie d'agriculture de France, 2017.

d'altération du profil sur gneiss est plus fort que celui des profils sur basalte. Les résultats obtenus en minéralogie sont en accord avec les tendances fournies par les indices. L'ensemble des analyses indique la séquence d'altération suivante pour les trois profils : São Borja < Taquara < Eldorado do Sul. Pour le profil São Borja, les smectites sont néoformées à partir de la dissolution des plagioclases et des feldspaths alcalins. Pour le profil Taquara la séquence d'altération suivante est proposée : plagioclases et feldspaths alcalins → smectite → HIS → kaolinite. Pour le profil Eldorado do Sul, la kaolinite est néoformée par dissolution des minéraux primaires (micas, plagioclases et feldspaths potassiques) et re-précipitation. Dans les trois profils les oxy-hydroxydes de fer sont formés par l'altération des minéraux ferromagnésiens (ex. pyroxènes pour le basalte et biotite pour le gneiss).

Cette étude détaillée des profils de sols depuis la roche-mère jusqu'aux horizons superficiels apporte ou conforte des résultats fondamentaux pour la compréhension des processus de formation des sols en climat tropical. Ils confirment de plus l'importance de la réactivité des argiles dans les sols tropicaux : présence de minéraux 2 :1 dans tout ou partie du profil, présence de minéraux hydroxy-alumineux. Cette thèse se situe en amont de l'agronomie, mais elle apporte des informations très importantes pour la mise en valeur durable des sols en fonction des roches mères et de leur degré d'évolution, qui auraient pu être plus largement discutées, d'autant que le deuxième thème concerne justement l'effet de l'utilisations des sols.

L'effet des pratiques agricoles sur l'évolution des sols a été étudié dans une expérience *in situ* où l'intensité du pâturage a été contrôlée depuis 12 années (du non pâturage au pâturage très intensif). Les résultats montrent que le pH du sol est positivement corrélé à l'intensité d'abrouissement, mais l'inverse est observé pour le carbone. Aucune différence significative de la disponibilité des éléments nutritifs P et Ca, mais une différence positive pour Mg et négative pour K, a été observée en fonction de l'intensité du pâturage ; Al échangeable et CEC n'ont pas été modifiés. La minéralogie de la fraction argileuse totale comprend des kaolinites et des minéraux argileux 2:1 de type vermiculite hydroxy-alumineuse. Pour tous les horizons des sols des trois traitements les fractions très fines sont presque dépourvues de minéraux argileux 2:1 et contiennent de la kaolinite mal cristallisée ; plus la taille de la fraction augmente [0,05-0,1 µm] puis [0,1-2 µm] plus les minéraux 2 :1 augmentent et meilleure est la cristallisation de la kaolinite.

L'examen du sol superficiel [0-5 cm] du traitement de pâturage intensif fait apparaître un minéral expansible à l'éthylène-glycol dans la fraction grossière des argiles [0,1-2µm]. Dans toutes les modalités de pâturage, une hydroxylation des feuilletts apparaît, ceci d'autant plus nettement que la fraction argileuse est plus grossière. Deux phénomènes apparaissent en diffraction X, d'une part une variation concernant le pic à 1,0 nm et d'autre part une autre variation associée à un pic vers 1,15 nm. L'interprétation donnée est que l'intensité du pâturage favorise une aluminisation à deux degrés : une aluminisation forte qui se traduit par un pic réel correspondant à une vermiculite hydroxyalumineuse très stable vers 1,15nm, et une aluminisation moins stable qui est relativement déstabilisée par les traitements K et chauffage conduisant à un pic à 1,0nm correspondant à une vermiculite vraie. Au total, l'intensité du pâturage se traduit par une aluminisation significativement plus stable des vermiculites. Cette tendance apparaît également mais de manière plus limitée dans l'horizon [20-40 cm], tant pour la présence de feuilletts expansibles que pour celle de vermiculite hydroxy-Al. Ce résultat montre que la minéralogie des argiles est un indicateur sensible des conséquences géochimiques de l'utilisation actuelle des sols *via* la matière organique (décroissance des retours en fonction de l'intensité du pâturage) et les cations (exportations plus fortes par la biomasse abrutie, retours plus forts de K dans les fèces). Les acteurs de la compétition interfoliaire dans les minéraux argileux sont modifiés, expliquant la variation de l'aluminisation des minéraux expansibles, dont la rétention des

cations nutritifs dépend fortement.

Les rapporteurs ont souligné la quantité et la qualité du travail accompli tant pour son intérêt académique que finalisé. En effet, ces résultats obtenus avec des méthodes classiques associées des approches minéralogiques élaborées, montrent le caractère générique de l'aluminisation des réseaux des minéraux argileux expansibles, en particulier de leur fraction la plus grossière. Cette aluminisation des minéraux expansibles a des conséquences agronomiques importantes, en particulier dans le domaine tropical, où la diminution de la réactivité de l'échangeur minéral d'ions, conduit à une baisse certaine de fertilité du sol. Le rapporteur brésilien souligne la portée appliquée de cette étude pour les sols d'un des Etat les plus importants pour la production céréalière ou oléagineuse du Brésil.

La portée générale des résultats obtenus n'a parfois pas été suffisamment présentée par l'auteur du travail elle-même, mais le sera dans les publications à venir. Il ouvre des perspectives importantes pour les recherches sur les sols au Brésil.

Cette thèse en co-tutelle a été défendue avec succès en février 2017 à l'Université de Poitiers, devant un jury mixte franco-brésilien qui a décerné à Madame Bertolazi le titre de Docteur avec la mention *très honorable*.