

Pouvoir fixateur vis-à-vis des ions phosphate de sols tropicaux à argile 1:1

E. Frossard¹, M. Brossard², C. Feller³, et J. Rouiller⁴

¹ENSAIA-INRA, BP 172, 54505 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex, France; ²ORSTOM c/o CPB-CNRS, BP 5, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex, France; ³ORSTOM, LCSC, BP 5045, 34032 Montpellier Cédex, France; et ⁴CPB-CNRS, UPR 6831 du CNRS associé à l'Université de Nancy I, BP5, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex, France. Reçu le 24 juillet 1991, accepté le 11 décembre 1991.

Frossard, E., Brossard, M., Feller, C. et Rouiller, J. 1992. **Pouvoir fixateur vis-à-vis des ions phosphate de sols tropicaux à argile 1:1.** Can. J. Soil Sci. 72: 135-143. L'objet de ce travail est l'étude de l'influence des constituants minéraux secondaires (oxydes de fer et d'aluminium, kaolinite) et de la matière organique sur le pouvoir fixateur vis-à-vis des ions phosphate (P_{FIX}) de sols tropicaux à argile 1:1. L'analyse est menée au niveau des échantillons de sols totaux (0-2 mm) et de leur fractions granulométriques. Le P_{FIX} estimé par une méthode isotopique. Le P_{FIX} des échantillons de sols totaux (0-2 mm) est directement lié à leur teneur en fer total. Le P_{FIX} des fractions granulométriques est fonction de leur nature minéralogique et de l'organisation des constituants. L'influence de la matière organique (MO) est abordée par un traitement à H_2O_2 qui augmente notablement le P_{FIX} des sols et de leurs fractions. Deux hypothèses sont proposées pour expliquer cet effet. H_2O_2 provoque la formation in vitro de constituants amorphes à fort P_{FIX} . La destruction de la MO à H_2O_2 entraîne l'apparition de surfaces minérales masquées par microagrégation organo-minérale, et/ou libère sur les surfaces des sites initialement occupés par la MO.

Mots clés: Pouvoir fixateur, ions phosphate, fractionnement granulométrique, minéralogie, matière organique, effet H_2O_2

Frossard, E., Brossard, M., Feller, C. and Rouiller, J. 1992. **Phosphate fixing capacity of some low activity clay soils.** Can. J. Soil Sci. 72: 135-143. This study was aimed to clarify the influence of secondary mineral constituents (iron and aluminium oxides, kaolinite) and organic matter on the determination of the phosphate-fixing capacity (P_{FIX}) of well-drained low-activity clay soils. This study was done on soil samples (0-2 mm) and on their particle size fractions. The phosphate-fixing capacity, estimated by an isotopic exchange method, was highly related to the total iron content of the soils. The phosphate-fixing capacity of the particle size fractions was related to their mineralogical composition, and to the organisation of their constituents. H_2O_2 strongly increased the phosphate-fixing capacity of the soils and of their particle size fractions. Two hypotheses were proposed to explain this. Either H_2O_2 caused the formation in vitro of amorphous constituents with a high phosphate fixing capacity; or the destruction of organic matter by H_2O_2 caused the apparition of new surfaces previously masked by organo-mineral aggregation and/or caused the apparition on surfaces of fixation sites previously occupied by organic compounds.

Key words: Phosphate-fixing capacity, low-activity clay soils, particle size fractionation, mineralogy, organic matter, H_2O_2 effect

Les sols tropicaux à argile 1:1 sont souvent fortement carencés en phosphore (Roche et al. 1980). Cette carence peut être le fait

de faibles réserves en P et/ou d'un pouvoir fixateur (P_{FIX}) élevé du sol. Le P_{FIX} de ces sols est déterminé par la nature des constituants minéraux, et dans une moindre mesure par les constituants organiques.

Can. J. Soil Sci. 72: 135-143 (May 1992)

135

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 36.179 ex 1

Cote : B

23 NOV. 1992

928 M

Tiessen et al. (1991) ont montré que dans ces sols le P était associé aux oxydes de fer et d'aluminium, formes considérées comme peu mobilisables à court terme. De nombreuses études ont confirmé qu'il existait une relation entre le P_{FIX} et les teneurs d'oxydes de fer et d'aluminium et/ou d'argile (Juo et Fox 1977; Roche et al. 1980).

Frossard et al. (1986) ont montré qu'il existait un effet inhibiteur de la matière organique sur le P_{FIX} de ces sols en testant l'influence d'apports de composés organiques. Chevignard et al. (1986) suggèrent que le P_{FIX} dépend à la fois des réserves de matière organique (MO) et de leur nature.

Le but de ce travail est de préciser l'influence des constituants minéraux secondaires (oxydes de fer et d'aluminium, kaolinite) et de la matière organique sur le pouvoir fixateur de sols tropicaux à argile 1:1. L'étude est menée à deux niveaux : (i) sur les échantillons totaux (sol 0-2 mm), (ii) sur leurs différentes fractions granulométriques.

MATERIAUX ET METHODES

Situations

Les situations retenues pour ce travail sont présentées au Tableau 1. Les échantillons TNR101 et TNR141

proviennent du centre du Sénégal (Feller et Milleville 1977), les échantillons P, T1, T3, T8, T12, V1, V3 et V5 du nord de la Côte d'Ivoire (HYPERBAV 1990) et le dernier (MPR51) de la région de Ponta Grossa au Brésil. Les sols des situations P et T du nord de la Côte d'Ivoire appartiennent à une toposéquence de quelques centaines de mètres dans la zone de contact forêt-savane: sols ferrallitiques rouges (P) sur le plateau, sols ferrallitiques rouges et ocres (T1, T3) en haut de pente, sols ferrugineux beiges (T8, T12) à mi- et en bas de pente. Les parcelles analysées n'ont pratiquement jamais reçu d'engrais.

Analyses totales sur échantillons de sol 0-2 mm

Le carbone est dosé à l'aide d'un analyseur élémentaire "CHN Carlo Erba mod. 1106". Les teneurs totales de fer, aluminium et silice sont déterminées après fusion au métaborate de strontium (Jeanroy 1974) et exprimées en oxydes (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2). Le phosphore total (P_{total}) est dosé en colorimétrie selon Murphy et Riley (1962) après calcination de l'échantillon à 550°C , attaque par HNO_3 concentré et mise en solution dans H_2SO_4 0.5 M. Les surfaces spécifiques des fractions granulométriques de TNR101 et MPR51 sont mesurées à 77°K par la méthode BET- N_2 , les résultats présentés ici sont issus de Feller et al. (1992).

Fractionnement granulométrique des sols

Le fractionnement est effectué après dispersion, à un pH proche de la neutralité, de l'échantillon total

Tableau 1. Présentation des situations et caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques des échantillons étudiés (horizons 0-10 cm)

Symbole	Type de sol ^z	Végétation	Données analytiques sols 0-2 mm ^y					Minéralogie ^x de la fraction 0-2 μm
			0-2 μm	C	Fe_2O_3	P_{total}	P_{FIX}	
			(g kg ⁻¹)					
TNR101	FL	savane arborée	76	8.9	11	104	1.4	K(+++)/Qz(+)
TNR141	FL	culture 12 ans	43	5.1	10	81	1.1	K(+++)/Qz(+)
P	FR	forêt	213	17.1	43	271	7.1	K(+++)/Qz(+)/Hm(+)
T1	FR	savane arborée	232	15.8	56	251	6.7	K(+++)/Qz(+)/Hm(+)
T3	FR/FL	savane arborée	186	12.8	27	286	3.1	K(+++)/Qz(+)/Hm(+)
T8	FL	savane arbustive	120	11.6	27	299	2.0	K(+++)/Qz(+)/Go(+)
T12	FL	savane herbacée	65	7.6	16	168	1.4	K(+++)/Qz(+)/Go(+)
V1	FR	forêt	186	16.8	39	214	3.2	K(+++)/Qz(+)/Go(+)
V3	FR	culture 10 ans	207	9.7	22	152	3.6	K(+++)/Qz(+)/Go(+)
V5	FR	jachère 12 ans	186	15.9	39	187	3.9	non déterminée
MPR51	FO	prairie naturelle	653	40.9	178	561	11.1	Gi(+++)/Hm(+)/Go(+)/K(+)

^zType de sol (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, 1967) : FL : sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions en profondeur ; FR : sol ferrallitique faiblement désaturé ; FO : sol ferrallitique fortement désaturé (à caractère oxisque).

^yDonnées analytiques : 0-2 μm = argile granulométrique ; C = carbone organique total ; Fe_2O_3 = fer total.

^xMinéralogie : K = kaolinite ; Qz = quartz ; Hm = hématite ; Go = goethite ; Gi = gibbsite ; (+++) = très abondant, (++) = abondant, (+) = peu abondant.

(0–2 mm) dans 300 mL d'eau distillée et 100 mL de résine "Amberlite IRN 77" saturée en sodium (Feller et al. 1991a). Les sables et les limons grossiers (20–2000 μm) sont séparés de la suspension par tamisage à 20 μm . Les limons fins (2–20 μm) sont séparés de la fraction argileuse (0–2 μm) par sédimentation et les argiles fines (0–0.2 μm) sont séparées des argiles grossières (0.2–2 μm) par centrifugation. Les matières organiques sont séparées de la fraction 20–2000 μm par densimétrie dans l'eau (Feller 1979). On obtient ainsi une fraction "légère" (Fl 20–2000 μm) riche en MO et une fraction "dense" (Fd 20–2000 μm) très pauvre en MO. Les fractions sont séchées à 50°C et broyées finement avant analyse. Les fractions suivantes sont considérées dans ce travail :

Fl 20–2000, Fd 20–2000, 2–20, 0.2–2.0 et 0–0.2 μm .

Traitement à H_2O_2

0.5 g d'échantillon additionnés de 100 mL de H_2O_2 15 vol. (stabilisée par des stannates) sont portés à l'éthuve à 50°C jusqu'à évaporation totale. Les échantillons sont ensuite lavés pendant 17 h dans CaCl_2 0.1 M (rapport échantillon : solution de 1:100), puis centrifugés à 10 000 g pendant 20 minutes.

Mesure du pouvoir fixateur (P_{FIX})

P_{FIX} est mesuré par la méthode des cinétiques d'échange isotopique (Fardeau 1981). Expérimentalement il est introduit dans un système sol-solution en équilibre dynamique une quantité donnée de radioactivité R (en MBq) sous forme d'ions $^{32}\text{PO}_4^{3-}$, puis la décroissance de la radioactivité en solution au cours du temps est mesurée. Si r1 (MBq) représente la quantité de radioactivité restante en solution après une minute d'échange isotopique, le rapport R/r1, appelé ici P_{FIX} , est une mesure du pouvoir fixateur du sol vis-à-vis des ions PO_4^{3-} . Le pouvoir fixateur d'un échantillon de sol est d'autant plus élevé que son P_{FIX} est grand. En utilisant l'échelle fournie par Fardeau (1981) le pouvoir fixateur sera élevé pour $P_{\text{FIX}} > 5$ et faible pour $P_{\text{FIX}} < 2.5$.

Pour les échantillons de sol (0–2 mm) de cette étude nous avons effectué les mesures de P_{FIX} dans les mêmes conditions que celles préconisées par Fardeau (1981) (suspension de 10 g de sol dans 99 mL d'eau distillée plus 1 mL de solution aqueuse contenant $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$). Toutes les valeurs de P_{FIX} sont des moyennes de trois répétitions, les coefficients de variation sont voisins de 7%.

Pour les fractions granulométriques des sols TNR101, MPR51 (traitées ou non à H_2O_2) et V1 les mesures ont été faites sur des suspensions de 200 mg d'échantillon avec 19 mL de CaCl_2 0.1 M plus 1 mL de solution aqueuse contenant $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$. Cette modification permet de manipuler de très faibles quantités d'échantillon et de comparer le P_{FIX} des fractions entre elles grâce à un fond ionique homogène malgré les perturbations occasionnées par le fractionnement granulométrique. Le P_{FIX} des sols non fractionnés est mesuré dans les mêmes conditions. Afin de comparer les résultats des fractions à celui de l'échantillon non fractionné on recalcule un P_{FIX} sur la somme des fractions comme suit : (i) calcul des quantités de $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ fixées en 1 minute par kg de chacune des fractions granulométriques (MBq kg fraction⁻¹), (ii) calcul de la radioactivité de chaque fraction rapportée au kg de sol en tenant compte des teneurs pondérales des fractions (MBq kg sol⁻¹), (iii) calcul de P_{FIX} en tenant compte de la quantité totale de $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ introduite (MBq kg sol⁻¹).

Tests statistiques

Les tests statistiques utilisés dans ce travail pour étudier les relations entre P_{FIX} et différentes caractéristiques des sols sont des régressions linéaires.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pouvoir fixateur des sols

Les valeurs détaillées de P_{FIX} sont présentées au Tableau 1. On constate que :

- les échantillons sableux ayant une teneur en argile inférieure à 120 g kg⁻¹ et une teneur en Fe_2O_3 inférieure à 27 g kg⁻¹, du Sénégal (TNR101 et TNR141) et de Côte d'Ivoire (T8, T12) ont des P_{FIX} inférieurs à 2.5 et sont donc faiblement fixateurs ;
- les échantillons sablo-argileux de Côte d'Ivoire (T3, V1, V3, V5) ayant des teneurs en argile comprises entre 120 et 210 g kg⁻¹ et des teneurs en Fe_2O_3 comprises entre 27 et 40 g kg⁻¹, ont des P_{FIX} compris entre 2.5 et 5.0 et sont donc moyennement fixateurs ;
- les échantillons sablo-argileux de Côte d'Ivoire (P, T1) et argileux du Brésil (MPR51) avec des teneurs en argile supérieures à 210 g kg⁻¹ et des teneurs en Fe_2O_3 supérieures à 40 g kg⁻¹, ont des P_{FIX} supérieurs à 5.0 et sont donc considérés comme fortement fixateurs.

Il existe des liaisons hautement significatives ($P < 0.01$) entre P_{FIX} et la teneur d'argile ($r^2 = 0.84$) et entre P_{FIX} et Fe_2O_3 ($r^2 = 0.80$). L'introduction de la matière organique comme deuxième variable explicative dans une régression linéaire multiple $P_{\text{FIX}} = f(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{C})$ ne modifie pas significativement le coefficient de détermination ($r^2 = 0.82$).

Ces observations sont en accord avec les résultats obtenus par Juo et Fox (1977) et Roche et al. (1980). Ces variations qui s'observent à l'échelle inter-régionale (comparaisons Sénégal, Côte d'Ivoire, Brésil) sont aussi observées à l'échelle locale (exemple de la toposéquence de Côte d'Ivoire).

Pouvoir fixateur des fractions granulométriques

Les mesures de P_{FIX} ont été effectuées sur les fractions de 3 échantillons : TNR101, V1 et MPR51 (Tableau 2).

BILANS DES FRACTIONNEMENTS GRANULOMÉTRIQUES. Pour les échantillons TNR101 et V1 la somme des P_{FIX} des fractions est inférieure au P_{FIX} mesuré du sol non fractionné. La somme des P_{FIX} des fractions de l'échantillon MPR51 est supérieure au P_{FIX} mesuré du sol non fractionné.

Les bilans, en masse, carbone, Fe_2O_3 , Al_2O_3 et SiO_2 sont proches de 100%. Aussi, pour les échantillons TNR101 et V1 le défaut de bilan ne peut être attribué à une perte de matériel. Il ne peut pas non plus être attribué à une perte de cations échangeables car le P_{FIX} des fractions est mesuré en présence de CaCl_2 0.1 M. Ce défaut de bilan s'explique par les conditions de pH (proche de la neutralité) dans lesquelles se fait la dispersion de l'échantillon 0-2 mm. De telles conditions modifient les charges des sites d'adsorption des ions PO_4^{3-} en les rendant plus électro-négatives ce qui expliquerait la baisse du

Tableau 2. Pouvoir fixateur (P_{FIX}) et teneur de carbone (C), fer total (Fe_2O_3), aluminium total (Al_2O_3), silice totale (SiO_2) et surface spécifique des fractions granulométriques de TNR101, V1 et MPR51

Sol	Fraction (μm)	Masse	C	Fe_2O_3 (g kg^{-1})	Al_2O_3	SiO_2	S.S. ^z $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ 10^3	P_{FIX}		
								témoin	H_2O_2	
TRN101	20-2000 Fd	753	0.4	7.0	6.4	975	0.9 ^y	1.1	1.0	
	20-2000 FI	69	32.0	13.7	65.2	521		1.2	nd	
	2-20	98	36.0	21.5	70.9	770	6.9	2.3	3.9	
	0.2-2	50	43.5	43.3	265	432	24.0	9.9	14.3	
	0-0.2	23	33.6	38.1	327	428	47.8	5.3	20.0	
	eau	4								
	Somme 0-2000	997	9.0	11.4	37.0	877	3.7	1.2	1.8	
Sol non fractionné	1000	8.9	11.1	32.0	916	4.3	1.5	1.7		
V1	20-2000 Fd	650	0.9	27.7	17.3	nd	nd	1.1	nd	
	20-2000 FI	54	59.9	37.8	94.7	nd	nd	4.4	nd	
	2-20	106	54.9	48.0	126	nd	nd	6.3	nd	
	0.2-2	119	34.5	84.2	305	nd	nd	14.6	nd	
	0-0.2	57	20.4	71.2	318	nd	nd	8.6	nd	
	eau	12								
	Somme 0-2000	997	14.9	39.2	84.1	nd	nd	1.5	nd	
Sol non fractionné	1000	16.8	39.0	88.0	nd	nd	2.1	nd		
MPR51	20-2000 Fd	148	8.4	179	94.0	595	23.4 ^y	8.5	54.9	
	20-2000 FI	22	146.3	113	132	338		3.7	nd	
	2-20	176	53.7	182	246	271	44.4	16.8	105	
	0.2-2	431	44.5	188	361	159	59.4	38.5	131	
	0-0.2	222	33.5	178	381	174	71.1	31.3	127	
	eau	38								
	Somme 0-2000	1037	40.5	181	300	250	53.3	18.6	88.0	
Sol non fractionné	1000	40.9	178	287	247	54.7	12.7	89.7		

^z Les données de surface spécifique sont issues de Feller et al. (1992).

^y Surface spécifique mesurée sur la fraction globale 20-2000 μm (FI+Fd); nd = non déterminé.

pouvoir fixateur du sol (Barrow et al. 1980). Cet effet est d'autant plus marqué que le pouvoir tampon du sol vis-à-vis des variations de pH est faible, donc que la teneur d'argile est faible, conformément à nos résultats.

Concernant le bilan de fractionnement de l'échantillon MPR51 il apparaît que la dispersion a rendu accessibles pour les ions PO_4^{3-} certains sites qui ne l'étaient pas dans l'échantillon non fractionné.

ROLE DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES DANS L'EXPRESSION DU P_{FIX} . Les fractions de TNR101 présentent les P_{FIX} les plus faibles, les fractions de V1 des P_{FIX} intermédiaires et les fractions de MPR51 les P_{FIX} les plus élevés. Pour les 3 échantillons les valeurs du P_{FIX} des fractions granulométriques se classent ainsi :

Fd et FI 20–2000 μm < 2–20 μm < 0–0.2 μm < 0.2–2 μm

La participation de chaque fraction au P_{FIX} de la somme des fractions est pour TNR101, V1 et MPR51 respectivement de 38, 48 et 68% pour les fractions 0–2 μm ; de 33, 27 et 17% pour la fraction 2–20 μm ; de 29, 25 et 15% pour les fractions 20–2000 μm (FI + Fd).

DETERMINANTS DU P_{FIX} , RELATIONS MONO- ET PLURIFACTORIELLES. Comme pour les échantillons totaux (0–2 mm) il existe une relation hautement significativement ($P < 0.01$) entre Fe_2O_3 et P_{FIX} ($r^2 = 0.63$) (Fig. 1). Le coefficient de détermination est amélioré significativement ($r^2 = 0.77$) par l'introduction de Al_2O_3 comme deuxième variable explicative dans la régression linéaire

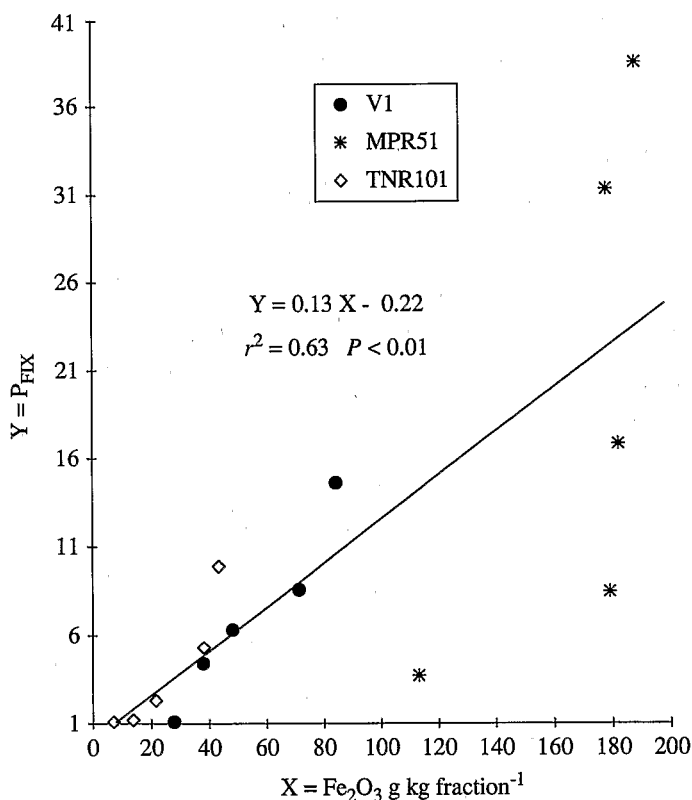


Fig. 1. Relation entre le pouvoir fixateur (P_{FIX}) et la teneur de fer (Fe_2O_3) des fractions granulométriques de TNR101, V1, et MPR51.

multiple $P_{\text{FIX}} = f(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$. Par contre l'introduction du carbone comme troisième variable explicative ne modifie pas significativement le coefficient de détermination ($r^2=0.79$). Il existe une relation hautement significative ($r^2=0.77$; $P<0.01$) entre le logarithme de P_{FIX} et la surface spécifique des fractions de TNR101 et MPR51 mesurée par la méthode BET- N_2 (Fig. 2).

RELATION ENTRE LA NATURE DES FRACTIONS ET P_{FIX} . Les fractions de MPR51 sont éloignées de part et d'autre du modèle calculé $P_{\text{FIX}} = f(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (Fig. 1). Le P_{FIX} des fractions 0.2–2 μm et 0–0.2 μm est élevé par rapport à leur teneur de fer. Ceci est dû d'une part à l'abondance de gibbsite dans ces fractions (Tableau 1), minéral qui présente un fort pouvoir fixateur vis-à-vis des ions PO_4^{3-} (Parfitt 1978), et d'autre part à une probable

substitution alumineuse dans les oxydes de fer (goethite et hématisite). Ainsworth et al. (1985) et Barron et al. (1988) ont en effet montré qu'elle pouvait augmenter fortement la surface spécifique et le P_{FIX} de ces oxydes. Les P_{FIX} plus faibles des fractions 0.2–2 μm et 0–0.2 μm de TNR101 sont liés à la prédominance de la kaolinite (Tableau 1). Les résultats observés sur les fractions 0.2–2 μm et 0–0.2 μm de V1 sont dus à des teneurs de Fe_2O_3 intermédiaires et à l'apparition de quantités non négligeables de goethite et d'hématisite qui deviennent observables aux rayons X. Dans les trois échantillons la fraction 0.2–2 μm présente un P_{FIX} plus élevé que la fraction 0–0.2 μm malgré la surface spécifique plus élevée de cette fraction observée pour TNR101 et MPR51. Cette différence est due à une augmentation de la kaolinite par rapport aux oxydes métalliques dans la

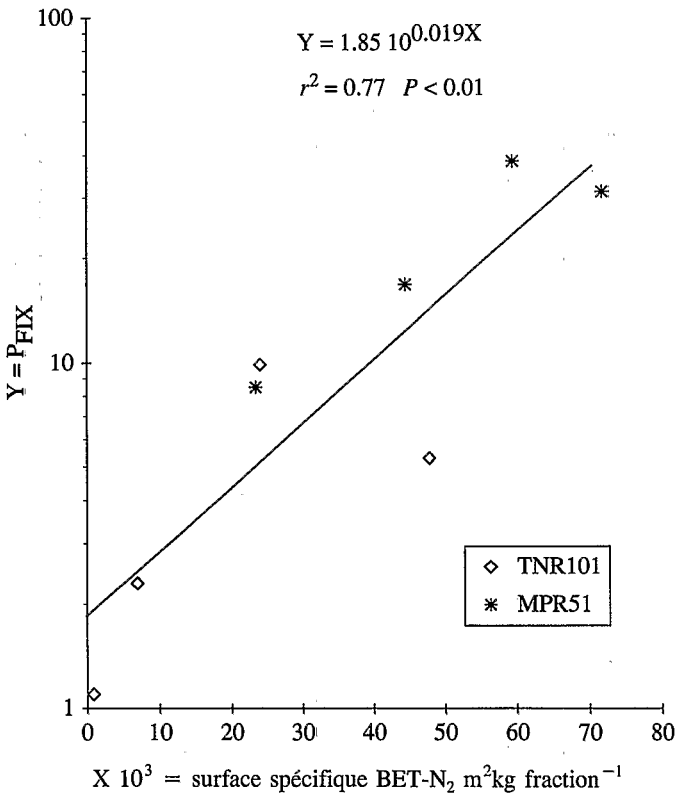


Fig. 2. Relation entre le pouvoir fixateur (P_{FIX}) et la surface spécifique BET- N_2 des fractions granulométriques de TNR101 et MPR51.

fraction 0–0.2 μm de ces sols. Ainsi, pour MPR 51, l'augmentation de la teneur en SiO_2 dans cette fraction est le reflet d'une teneur plus élevée de kaolinite étant donné que SiO_2 est essentiellement présent sous cette forme dans la fraction argileuse de ce sol (Tableau 1). Dans TNR101 Al_2O_3 est présent essentiellement sous forme d'argile étant donné que la teneur de l'échantillon total en Al_2O_3 amorphe plus Al_2O_3 substituée dans les oxydes de fer mesurée par une extraction citrate bicarbonate dithionite est très faible par rapport à la teneur totale en Al_2O_3 (respectivement 1.5 et 32 g kg^{-1}). Donc l'augmentation de la teneur en Al_2O_3 totale dans la fraction 0–0.2 μm est aussi attribuable à une augmentation de la teneur en kaolinite.

Le modèle $P_{\text{FIX}} = f(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ surestime le P_{FIX} des fractions 2–20 μm et Fd 20–2000 μm de l'échantillon MPR51. Par ailleurs ces deux fractions se situent sur le modèle $P_{\text{FIX}} = f(\text{surface spécifique})$ (Fig. 2). La prise en compte de ces résultats et des observations aux rayons X de ces fractions (quartz, gibbsite, hématite, goethite et kaolinite) indiquent que la structure des minéraux conditionne l'accès des ions PO_4^{3-} aux sites de fixation. Ces résultats rejoignent ceux de Ainsworth et al. (1985) montrant que la surface spécifique de goethites varie entre 68 10^3 et 284 $10^3 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ et ceux de Barron et al. (1988) montrant que la surface spécifique d'hématites varie entre 6.2 10^3 et 115.4 $10^3 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ suivant le mode de préparation et le degré de substitution aluminique de ces oxydes. Certains de ces minéraux peuvent donc se retrouver dans les fractions granulométriques supérieures à 20 μm et présenter un P_{FIX} non négligeable. Enfin les travaux de Willett et al. (1988) montrent que la porosité des ferrihydrites conditionne la réaction à moyen et long terme des ions PO_4^{3-} .

Les très faibles P_{FIX} des fractions 2–20 μm et Fd 20–2000 μm du TNR101 sont liés à la prédominance du quartz dans ces fractions. Les P_{FIX} intermédiaires des fractions 2–20 μm et Fd 20–2000 μm du V1 doivent être rapprochés des teneurs intermédiaires en Fe_2O_3 .

Enfin, les débris végétaux confèrent de faibles P_{FIX} aux fractions F1 20–2000 μm . Ce P_{FIX} augmente toutefois en fonction du degré de pollution de cette fraction par des particules minérales issues de la fraction Fd 20–2000 μm .

FRACTIONS TRAITÉES A H_2O_2 . Le pouvoir fixateur de l'échantillon total 0–2 mm et des fractions granulométriques a été mesuré sur TNR101 et MPR51 après traitement à H_2O_2 en vue d'étudier l'effet de la matière organique (Tableau 2). Ce traitement augmente le P_{FIX} de l'échantillon non fractionné de TNR101 de 1.5 à 1.7 et le P_{FIX} de MPR51 non fractionné de 12.7 à 89.7. Ces variations sont dues à une augmentation du P_{FIX} de toutes les fractions d'autant plus importantes que la taille des fractions est petite et que leur teneur de fer est élevée. Seul le P_{FIX} de la fraction Fd 20–2000 μm de TNR101, composée uniquement de quartz, reste inchangé. Diverses explications peuvent être envisagées pour cet effet H_2O_2 :

(1°) il peut conduire à la formation ou à la libération in vitro, de constituants amorphes à fort P_{FIX} . C'est ainsi que selon Schulze (1988) de la ferrihydrite pourrait précipiter après traitement H_2O_2 dans des échantillons riches en complexes organo-ferriques. Les surfaces spécifiques des ferrihydrites étant d'autant plus faibles que les teneurs de MO associées sont élevées (Süsser et Schwertmann 1983), on peut effectivement s'attendre à des augmentations de P_{FIX} dans le cas d'échantillons à teneurs élevées en complexes organo-ferriques. De même, Sequi et Aringhieri (1977) signalent que l'augmentation des "surfaces électropositives" observées après traitement H_2O_2 de divers échantillons de sols pourrait être due à la libération des métaux associés à la MO, et à leur dépôt sous forme d'oxydes.

(2°) il s'agit d'un réel effet de la MO qui pourrait être observable in situ indépendamment de l'action de H_2O_2 . Dans ces conditions l'augmentation du P_{FIX} observée après destruction de la MO s'explique essentiellement (i) par l'apparition de surfaces minérales qui étaient masquées à la suite d'une

microagrégation au sein des fractions organo-argileuses, et/ou (ii) par la libération de sites initialement occupés par la MO et à fort pouvoir fixateur vis-à-vis des ions PO_4^{3-} . A l'appui de la première hypothèse divers travaux ont mis en évidence l'effet de la MO sur les surfaces spécifiques de complexes organo-argileux (Dejou 1989 ; Feller et al. 1992) ou organo-ferriques (Süsser et Schwertmann 1983). A l'appui de la deuxième hypothèse on sait que des matières organiques comme les acides humiques, fulviques ou des acides de faibles poids moléculaires sont susceptibles d'entrer en compétition avec les ions PO_4^{3-} pour l'occupation des mêmes sites à la surface des oxydes (Frossard et al. 1986 ; Violante et al. 1991).

Le premier type de mécanisme (modification in vitro de la réactivité des surfaces due au traitement) est sans doute à l'origine des variations de P_{FIX} observées dans la fraction Fd 20–2000 μm de MPR51. En effet, sa teneur initiale de matière organique est faible (8.4 g kg^{-1}), et sa surface spécifique n'est que faiblement modifiée par le traitement H_2O_2 (23.4 $10^3 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ avant et 23.9 $10^3 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ après traitement). Par contre dans les fractions argileuses des deux sols, les deux types de mécanismes (artefact dû au traitement H_2O_2 et effet réel des matières organiques) doivent être pris en compte.

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus sur les échantillons de sols totaux (0–2 mm) montrent que le pouvoir fixateur est directement lié à la teneur de fer total et que les variations qui s'observent à l'échelle inter-régionale sont aussi observées à l'échelle locale.

Le fractionnement granulométrique a permis de mettre en évidence le rôle de la nature minéralogique des constituants du sol sur l'expression du pouvoir fixateur. Les résultats obtenus sur le sol ferrallitique à caractère oxique (MPR51) montrent que l'organisation des constituants ainsi que leur surface spécifique conditionnent également le pouvoir fixateur.

Le traitement des sols et des fractions à H_2O_2 augmente notablement leur pouvoir fixateur.

Deux hypothèses sont proposées pour expliquer cet effet : soit H_2O_2 provoque la formation in vitro de constituants amorphes à fort pouvoir fixateur, soit la destruction de la MO par H_2O_2 entraîne l'apparition de surfaces minérales masquées par microagrégation organo-minérale, et/ou elle libère sur les surfaces des sites initialement occupés par la MO à fort pouvoir fixateur.

La mise en culture des sols tropicaux à argile 1:1 s'accompagne d'une diminution d'environ 50% du stock initial de matière organique (Feller et al. 1991b). Il est probable que dans les sols à faible teneur d'argile, comme c'est le cas en Afrique de l'Ouest, l'effet de la mise en culture n'entraîne qu'une faible augmentation du pouvoir fixateur du sol. Par contre dans les sols à forte teneur d'argile, comme c'est le cas au Brésil, cet effet de la mise en culture pourrait provoquer une forte augmentation du pouvoir fixateur et donc une diminution notable de l'efficacité des engrais phosphatés.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement MM. C. Cerri (CENA), E. Fritsch, R. Poss et C. Valentin (ORSTOM) pour le prêt de divers échantillons étudiés dans ce travail, ainsi que Mr A. J. Herbillon et deux réviseurs anonymes pour leurs conseils dans la rédaction.

Ainsworth, C. C., Sumner, M. E. et Hurst, V. J. 1985. Effect of aluminum substitution in goethite on phosphorus adsorption: I. adsorption and isotopic exchange. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **49**: 1142–1149.

Barron, V., Herruzo, M. et Torrent, J. 1988. Phosphate adsorption by aluminous hematites of different shapes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **52**: 647–651.

Barrow, N. J., Bowden, J. W., Posner, A. M. et Quirk, J. P. 1980. Describing the effects of electrolyte on adsorption of phosphate by a variable charge surface. *Aust. J. Soil Res.* **18**: 395–404.

Chevignard, T., Fardeau, J. C., Doubeau Piasco, S., Feller, C., Turenne, J. F. et Vallerie, M. 1986. Effets du remodelage parcellaire sur la fixation des phosphates en divers types de sols des Antilles. *Agronomie* **6**: 149–156.

Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols. 1967 Classification des sols. INRA. 96 p.

Dejou, J. 1989. La surface spécifique des argiles, sa mesure, sa relation avec la CEC et son importance en agronomie. *Dans C. R. Coll. AFES "CEC et fertilisation des sols agricoles"*, Caen, nov 1987, p. 72–83.

- Fardeau, J. C. 1981.** Cinétiques de dilution isotopique et phosphore assimilable des sols. Thèse Doct. Etat, Paris VI, 198 p.
- Feller, C. 1979.** Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols: application aux sols tropicaux, à textures grossières, très pauvres en humus. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. **17**: 339-346.
- Feller, C. et Milleville, P. 1977.** Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal oriental). 1. Présentation de l'étude. Cah. ORSTOM, sér. Biol. **12**: 199-211.
- Feller, C., Burtin, G., Gérard, B. et Balesdent, J. 1991a.** Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêts et limites. Science du Sol **29**, 2: 77-94.
- Feller, C., Fritsch, E., Poss, R. et Valentin, C. 1991b.** Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). Cah. ORSTOM, sér. Pédol. **26**: 25-36.
- Feller, C., Schouller, E., Thomas, F., Rouiller, J. et Herbillon, A. J. 1992.** N₂-BET specific surface areas of some low activity clay soils and their relationships with secondary constituents and organic matter contents. Soil Sci. **53**(4): (sous presse).
- Frossard, E., Truong, B. et Jacquin, F. 1986.** Influence de l'apport de composés organiques sur l'adsorption et la désorption des ions phosphate en sol ferrallitique. Agronomie **6**: 503-508.
- HYPERBAV, 1990.** Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide. Coll. Etudes et Thèses, ORSTOM, Ed. 307 p.
- Jeanroy, E. 1974.** Analyse totale par spectrométrie d'absorption atomique des roches, sols, minerais, ciments après fusion au métaborate de strontium. Analisis **2**: 703-712.
- Juo, A. S. R. et Fox, R. L. 1977.** Phosphate sorption characteristics of some bench-mark soils of West Africa. Soil Sci. **124**: 370-376.
- Murphy, J. et Riley, J. P. 1962.** A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta **27**: 31-36.
- Parfitt, R. L. 1978.** Anion adsorption by soils and soil materials. Adv. Agron. **30**: 1-50.
- Roche, P., Grière, L., Babre, D., Calba, H. et Fallavier, P. 1980.** Le phosphore dans les sols intertropicaux: appréciation des niveaux de carences et des besoins en phosphore. IMPHOS, publication scientifique n°2, 48 p.
- Schulze, D. G. 1988.** Separation and concentration of iron containing phases. Dans J. W. Stucki, B. A. Goodman et U. Schwertmann, eds. Iron in soils and clay materials. Chap 4, p. 110, NATO publ., Sér C, vol 2/7, 893 p.
- Sequi, P. et Aringhieri, P. 1977.** Destruction of organic matter by hydrogen peroxide in the presence of pyrophosphate and its effect on soil specific surface area. Soil Sci. Soc. Am. J. **41**: 340-342.
- Süsser, P. et Schwertmann, U. 1983.** Iron oxide mineralogy of ochreous deposits in drain pipes and ditches. Z. Kulturtechnik Flurbereinigung. **24**: 386-395.
- Tiessen, H., Frossard, E., Mermut, A. R. et Nyamekye, A. L. 1991.** Phosphorus sorption properties of ferruginous nodules from semiarid soils from Ghana and Brazil. Geoderma **48**: 373-389.
- Violante, A., Colombo, C. et Buondonno, A. 1991.** Competitive adsorption of phosphate and oxalate by aluminum oxides. Soil Sci. Soc. Am. J. **55**: 65-70.
- Willett, I. R., Chartres, C. J. et Nguyen, T. T. 1988.** Migration of phosphate into aggregated particles of ferrihydrite. J. Soil Sci. **89**: 275-282.