

Effet du taux d'humidité sur la minéralisation de différentes sources de matières organiques dans les sols sous cultures riz et blé au Mali

Sékou Sala GUINDO^{1*}, Sekou Sacko², Oumarou GOITA¹, Bandiougou DIAWARA¹, Hamara DABO¹, Cheick DEMBELE², Boubacar TRAORE², Dommo TIMBELY¹, Mama PLEA³

1. Institut d'Economie Rurale (IER)
2. Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB)/Faculté des Sciences et Techniques (FST)
3. UNESCO-Cameroun

*Adresse email du correspondant : sekousguindo@yahoo.fr

RESUME : Des simulations de la minéralisation de différentes sources de matières organiques (M.O) en milieu aérobie et anaérobie du sol ont été réalisées au laboratoire à ± 32 °C pour comprendre leur cinétique pour une meilleure gestion des amendements organiques. Les types de M.O utilisées étaient le fumier de parc de bovin, la paille de riz et de blé. Le sol était composé de sol sous culture riz et de sol sous culture blé. Les M.O ont été incubés dans les différents types de sols avec 06 niveaux de traitements pour chaque type de sol. La minéralisation des M.O incorporées en milieu aérobie et anaérobie dans des sols a montré que la cinétique des éléments minéraux varie en fonction des types de M.O, du temps d'incubation, du taux d'humidité et de la nature du sol. La décomposition est plus importante en milieu aérobie qu'en milieu anaérobie. Les taux de minéralisation les plus élevés ont été obtenus respectivement avec le fumier, la paille de riz et la paille de blé. Le pic de minéralisation de l'azote (N) se situe entre le 45^{ème} et le 60^{ème} jour d'incubation ; pour le phosphore (P) et le potassium (K), la phase active de minéralisation se situe au 75^{ème} jour.

Mot clé : sol, riz, blé, minéralisation, matières organiques.

INTRODUCTION

Les périmètres irrigués villageois des régions Nord du Mali sont caractérisés par la diversification des cultures (riz, blé, cultures maraichères). Le riz est cultivé généralement sur les sols argileux pendant la saison des pluies et le blé sur des sols limoneux à limoneux sableux en saison sèche froide. La fertilisation des cultures pratiquée par les paysans est de type minéral ou organo-minéral. Les quantités apportées sont faibles et souvent non conformes aux normes de qualité (Theriault et al. 2018). Les M.O apportées et incorporées dans les champs (fumure organique, paille de riz et de blé) sont soumises à différents facteurs (nature de la M.O, température, humidité du sol, texture, structure, compaction, travail du sol et les types de cultures) qui agissent sur sa décomposition (Qiu et al. 2018). Une bonne partie de la paille de riz ou de blé est en général exportée hors des parcelles de culture pour les travaux domestiques ou utilisée dans l'alimentation des animaux. Les quelques résidus qui restent sur les parcelles sont incorporés dans le sol lors des travaux de préparation pour les semis et constituent, avec les racines des cultures la plus grande source de fertilisants pour les cultures. Ces différentes sources de M.O apportées par les producteurs dans leur parcelle subissent des processus physico-chimiques et biologiques

variables en fonction des systèmes de culture et des types de sols.

Au Mali, le blé est cultivé dans un milieu d'oxydo-réduction avec des périodes d'humectation et de dessiccation, par contre le riz irrigué est cultivé dans un milieu réduit. Les informations sur le processus de minéralisation de différents types de MO dans milieu redox et de réduction du sol sont limitées. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude dont l'objectif est de comprendre la minéralisation de la M.O apportée au sol dans les conditions culturales du blé et du riz pour une meilleure gestion des amendements organiques.

2. MATERIEL ET METHODES

L'étude de la minéralisation de la M.O dans le sol a été effectuée sur 02 types de sols (un sol cultivé sous culture blé et un sol sous culture riz) de la région septentrionale du Mali (Diré). Les conditions pédoclimatiques de ces sols sont caractérisées par une alternance de saison des pluies de juillet à septembre avec une moyenne pluviométrique variant de 300 à 450 mm et une saison sèche d'octobre à juin. Les 02 systèmes de cultures sont caractérisés par des facteurs pédoclimatiques différents. Le sol sous culture du riz est caractérisé par une hydromorphie temporaire de juillet à octobre alors que le second est caractérisé par une

alternance d'inondation et d'assèchement décadaire (oxydoréduction) de novembre à mars.

Les échantillons de sols ont été prélevés à la profondeur de 0-20 cm en avril 2015 à Diré dans les villages de Ganganiberi pour le sol sous culture du blé et de N'Gorfondu pour le riz. Les coordonnées géographiques N & W des points de prélèvement (Tableau 1) ont été géo référencées et intégrées dans une base de données pour permettre de revisiter les sites pour un éventuel ré-échantillonnage dans les années à venir. La paille de riz utilisée provient de la variété de riz Was 49 (Saku) et celle du blé de la variété locale de blé (Tétra).

Tableau 1. Age d'exploitation et coordonnées géographiques des sites de prélèvements de sols

Périmètre	Age	Latitude	Longitude
Gangani	≥ 20	16°19'20,7	003°20'42,4'
Beri		"	'
N'Gorfondu	≥ 20	16°16'44,4	003°23'18,8'
		"	'

Les échantillons de sols prélevés ont été séchés à la température ambiante avant d'être broyés et tamisés avec un tamis de 2 mm de diamètre avant analyse. Les analyses ont porté sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols. Les principaux paramètres déterminés sont la granulométrie, le pH eau (par la méthode potentiométrique dans une suspension de terre), le carbone organique (selon la méthode Anne modifiée), l'azote total (selon Kjeldahl), le phosphore assimilable (selon Bray II), la capacité d'échange cationique et les bases échangeables.

Pour la paille de riz, de blé et de fumier, les échantillons sont oxydés à l'acide sulfurique en présence du peroxyde d'hydrogène. L'excès de peroxyde ainsi que l'eau formée par oxydation sont évaporés. La M.O restante est ensuite oxydée par l'acide sulfurique avec le sélénium comme catalyseur.

Pour l'incubation des échantillons, 500 g de sol sous culture blé et sous culture riz sont mis dans des pots en plastique. Ces échantillons de sols ont été mélangés avec du fumier, de la paille de riz et de blé avant d'être mis en incubation pendant 12 semaines à la température (± 32 °C) ambiante au Laboratoire Physico-chimie des Matériaux (LPCM) de la FST de Bamako. La 1^{ère} série a été incubée à la capacité au champ (200 ml d'eau distillée pour 500 g de sol). Chaque semaine, une quantité d'eau de 60 ml est apportée au sol. La 2^{ème} série par contre a été maintenue dans un milieu réduit avec une lame permanente d'eau distillée de 1cm sur le sol.

La paille de riz et de blé ont été préalablement broyées en vue de faciliter leur incorporation dans le sol. Les différents traitements qui ont été incubés étaient :

Essai 1 : Minéralisation de la M.O dans les conditions culturales du riz

- T1 : sol sous culture blé + 4g de fumier + lame d'eau permanente sur le sol,
- T2 : sol sous culture blé + lame d'eau permanente sur le sol,
- T3 : sol sous culture riz + 4g de fumier + lame d'eau permanente sur le sol,
- T4 : sol sous culture riz + lame d'eau permanente sur le sol,
- T5 : sol sous culture blé + 2g de paille de riz + lame d'eau permanente,
- T6 : sol sous culture riz + 2g de paille de riz + lame d'eau permanente.

Essai 2 : Minéralisation de la M.O dans les conditions culturales du blé

- T1 : sol sous culture blé + 4g de fumier + apport d'eau une fois par semaine,
- T2 : sol sous culture blé + apport d'eau une fois par semaine,
- T3 : sol sous culture riz + 4g de fumier + apport d'eau une fois par semaine,
- T4 : sol sous culture riz + apport d'eau une fois par semaine,
- T5 : sol sous culture blé + 2g de paille de blé + apport d'eau une fois par semaine,
- T6 : sol sous culture riz + 2g de paille de blé + apport d'eau une fois par semaine.

Chaque traitement a été répété 04 fois. L'humidité des échantillons des 02 essais a été ajustée selon les conditions culturales du blé (humectation du sol une fois par semaine) et du riz (maintien de la lame d'eau sur le sol) par ajout d'eau distillée. Les échantillons sont remués chaque 15 jour pour simuler les travaux d'entretien dans une parcelle culturale.

La cinétique de minéralisation des M.O dans les sols est mesurée en déterminant la quantité d'éléments nutritifs (N, P et K) dans chaque échantillon dans le temps entre le début et la fin de l'incubation. Chaque 02 semaine, 60g d'échantillons de sol sont prélevés dans chacun des pots pour analyse. Les échantillons prélevés sont séchés à l'étuve pendant 24 h à 105 °C avant analyse. Tous les échantillons (sol, paille de riz, de blé, de fumier) ont été analysés avant incubation afin de connaître la quantité d'éléments minéraux.

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) pour comparer les moyennes. Le seuil de signification a été défini à $P < 0,05$ avec le logiciel Gentstat 18th.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESULTATS

3.1.1. Caractéristiques des sols incubés

Les caractéristiques des sols figurent dans le tableau 1 ci-dessous. Les sols sont sablo-limoneux. Le pH des sols a été évalué selon le seuil critique de 5,5. Les résultats d'analyse ont montré que le périmètre

sous culture blé a un pH optimal ($5,5 < \text{pH} < 6,5$) pour la disponibilité des éléments nutritifs tandis que, celui du riz tend vers un sol alcalin ($6,5 < \text{pH} < 7,3$). Quant au P assimilable, les teneurs ont été évaluées par rapport au seuil critique de 7 mg/kg au-dessous duquel le niveau de P assimilable est jugé déficient. La lecture des résultats d'analyse a montré que les 02 sols sont pourvus de nutriments phosphatés pour les plantes. Pour ce qui est de l'azote, le taux est inférieur au seuil critique de 1,2 % (0,01 à 0,02 %). Les teneurs en K échangeable des sols ont été évaluées selon le seuil critique de 0,20 meq /100 g de sol, au-dessous duquel les

réserves du sol ne supportent plus les besoins des cultures. Le périmètre sous culture de blé à Ganganiberi a un bon niveau de potassium (K) tandis que celui de N'Gorfondu sous culture riz est légèrement en dessous du seuil critique (Tableau 1). La CEC est faible dans l'ensemble. Le seuil de saturation en Na (ESP en %) a montré que les sols sous culture blé sont non sodiques par contre les sols sous culture riz sont modérément sodiques. Le rapport Ca / Mg est favorable à l'assimilation des éléments car la valeur optimale pour les cultures tropicales est comprise entre 1,5 et 5 (Boyer, 1978).

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques des sols avant incubation au laboratoire

Paramètres	Périmètre de Diré	
	Ganganiberi (Périmètre blé - âge ≥ 20)	N'Gorfondu (Périmètre riz - âge ≥ 20)
pH (eau)	6,5	6,9
Matière organique, %	0,26	0,24
Azote total %	0,01	0,02
Phosphore assimilable, ppm	35,44	57,99
CEC (acétate ammonium), meq/100g	7,81	10,83
Ca meq/100 g de sol	4,02	6,01
Mg meq/100 g de sol	2,00	3,00
K meq/100g de sol	0,21	0,16
Na meq/100g de sol	0,08	0,16
Sable % > 0,05 mm	72,00	74,00
Limon fin % 0,05-0,002 mm	23,00	22,00
Argile % < 0,002 mm	4,00	4,00
Classe texturale	Sablo limoneuse	Sablo limoneuse

3.1.2. Effet de l'humidité à la capacité au champ sur la dynamique du pH eau, N-total, P assimilable et K échangeable des M.O dans le sol

Les résultats de la simulation du processus de minéralisation à ± 32 °C au laboratoire dans les conditions culturales du blé au Mali de différentes sources de M.O dans le sol a montré des hautement significatives entre les temps d'incubation et les paramètres chimiques ($P < 0,001$). L'effet du temps d'incubation (Tableau 2) montre que les sols incubés à la capacité au champ atteignent le pH proche de la neutralité (pH = 7) entre 45 et 60 Jours Après Incubation (JAI). Ces résultats montrent aussi que

pour les types de M.O incubées, la phase optimum de décomposition est différente en fonction des pH. Le N est à partir du 60 JAI (avec pH variant entre 6 et 6,5), le P à partir du 45 JAI (pH entre 6 - 6,5), et le K à partir du 90 JAI (pH = 6).

En ce qui concerne les systèmes de culture et les types de M.O incorporées, nous remarquons que les sols sous culture blé ont donné des teneurs en éléments minéraux supérieures aux sols sous culture riz (Tableau3). Il en est de même pour leur pH qui a varié entre 6,3 et 6,4 favorable pour la minéralisation de la M.O par les microorganismes du sol.

Tableau 2. Résultats d'analyse du pH eau, N, P et K en fonction des temps d'incubation à l'humidité à la capacité au champ

Jours d'incubation	pH eau	N	P	K
15 jours	6,4 b	0,017 c	22,70 b	5,57 b
30 jours	6,4 b	0,012 d	21,38 c	5,42 b
45 jours	6,5 a	0,025 b	22,55 a	4,29 c
60 jours	6,5 a	0,034 a	17,78 d	4,31 c
75 jours	6 c	0,015 cd	25,48 a	5,58 b
90 jours	6 c	0,030 a	25,54 a	6,23 a
Probabilité	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
LSD (PPDS)	0,062	0,0038	1,14	0,43

Tableau 3. Résultats d'analyse du pH eau, N, P et K en fonction des sources de matières organiques et des types de sols à l'humidité à la capacité au champ

Temps d'incubation	pH eau	N	P	K
T1 : sol sous culture blé + 4g de fumier + apport d'eau une fois par semaine	6,3 b	0,025 a	45,59 a	7,11 a
T2 : sol sous culture blé + apport d'eau une fois par semaine	6,4 a	0,019 c	43,43 b	5,93 b
T3:sol sous culture riz +4g de fumier + apport d'eau une fois par semaine	6,3 b	0,020 bc	4,95 c	5,29 c
T4 : sol sous culture riz + apport d'eau 01 fois par semaine	6,2 c	0,027 a	3,20 d	2,38 e
T5 : sol sous culture blé + 2g de paille de blé + apport d'eau 01 fois par semaine	6,3 bc	0,020 bc	35,11 e	6,77 a
T6 : sol sous culture riz + 2g de paille de blé + apport d'eau 01 fois par semaine	6,2 d	0,023 ab	3,15 e	3,92 d
Probabilité	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
LSD (PPDS)	0,062	0,0038	1,14	0,43

PPDS : plus petite différence significative

3.1.3. Effet du milieu anaérobie sur l'évolution du pH eau, N-total, P assimilable et K échangeable des M.O dans le sol

La décomposition de la M.O en milieu anaérobie réalisée au laboratoire ($\pm 32^{\circ}\text{C}$) a montré des différences significatives à hautement significatives ($0,001 < P < 0,004$) entre les temps d'incubation (jours) et les paramètres chimiques (Tableau 4). (0,05).

Les résultats d'analyse des sols incubés en fonction du temps en milieu anaérobie montrent que pendant

Tableau 4. Résultats d'analyse du pH eau, N, P et K en fonction des dates d'incubation en milieu anaérobie

Jours d'incubation	pH eau	N	P	K
15 jours	6,4 ab	0,018 bc	23,50 b	4,85 d
30 jours	6,4 a	0,017 c	22,28 bc	5,83 b
45 jours	6,4 a	0,019 bc	19,80 cd	4,30 d
60 jours	6,3 b	0,025 a	18,10 d	4,29 d
75 jours	5,9 d	0,020 bc	27,74 a	5,78 b
90 jours	6,0 c	0,023 ab	26,21 a	6,78 a
Probabilité	< 0,001	0,004	< 0,001	< 0,001
LSD (PPDS)	0,067	0,0047	2,64	0,43

Comme pour le temps d'incubation, le pH eau varie également en milieu anaérobie en fonction des sources de M.O et des systèmes de cultures (Tableau 5). Le pH optimum observé varie de 6,3-6,4 avec les sols sous culture blé avec ou sans apport de matières organiques (T1 et T2) ainsi que

le temps d'incubation, il y a une variation du pH liée à la minéralisation des éléments minéraux (Tableau 4). La quantité de N minéralisée est plus élevée à partir du 60^{ème} JAI avec un pH de 6,3. Quant 'au P, la quantité maximale est obtenue à partir du 75^{ème} JAI avec un pH variant de 5,7- 6,0 et le K est à partir du 90^{ème} JAI avec un pH de 6 environ. La phase optimum de minéralisation pour chaque élément correspond à un pH spécifique (Tableau 4).

les sols sous culture riz avec apport de fumier (T3). Des différences sont observées pour le P assimilable et le K assimilable entre les différentes sources et sols incubés. Par contre, pour le N total, il n'a pas de différences entre les traitements mis en incubation (Tableau 5).

Tableau 5. Résultats d'analyse de pH eau, N, P et K en fonction des sources de M.O et des types de sols en milieu anaérobie

Temps d'incubation	pH eau	N	P	K
T1 : sol sous culture blé + 4g de fumier + apport d'eau 01 fois par semaine	6,3 b	0,020 a	43,99 a	7,19 a
T2 : sol sous culture blé + apport d'eau 01 fois par semaine	6,4 a	0,020 a	44,55 a	5,73 c
T3 : sol sous culture riz + 4g de fumier + apport d'eau 01 fois par semaine	6,3 b	0,023 a	5,15 c	4,78 d
T4 : sol sous culture riz + apport d'eau 01 fois par semaine	6,1 c	0,020 a	3,50 c	2,41 e
T5 : sol sous culture blé + 2g de paille de blé + apport d'eau 01 fois par semaine	6,2 c	0,020 a	36,93 b	6,68 b
T6 : sol sous culture riz + 2g de paille de blé + apport d'eau 01 fois par semaine	6,0 c	0,022 a	3,51 c	5,04 d
Probabilité	< 0,001	0,38	0,001	< 0,001
LSD (PPDS)	0,067	0,0047	2,64	0,43

3.2. DISCUSSIONS

Caractéristiques des sols

Les résultats d'analyses des sols ont montré que les sols étudiés sont de texture sablo-limoneuse. Selon Bi Yao-Kouamé, et Kouamé (2012) ; ces types de sols sont surtout favorables à la culture du blé et dans une moindre mesure au riz. Les sols dominés par les sables se caractérisent par une faible CEC et des teneurs faibles en matière organique (Touhtouh et al. 2014). Les sols ont des caractéristiques variables en fonction des systèmes de cultures. La variabilité de la fertilité des sols relève de 02 facteurs, l'un lié aux différences inhérentes dues à la roche mère à partir de laquelle le sol a évolué (Mustafa SAĞLAM et DENGİZ, 2014) et l'autre aux modes de gestion des sols par les producteurs de riz et de blé. Selon Peukert et al. (2016), les activités agricoles notamment la gestion des résidus de récolte affectent les propriétés physiques du sol (Naresh, 2013) et même chimiques par des interactions avec différents processus à différentes échelles. La variabilité des propriétés chimiques des sols serait due aussi au mode de gestions des sols et des nutriments, des résidus de récolte, et des techniques culturales qui influent principalement sur les teneurs en C des horizons de surface (Singh et al. 2015).

La transformation des M.O incorporées dans le sol sous formes minérales est effectuée par des micro-organismes, notamment les bactéries et les champignons (Gregory et Nortcliff, 2013). Cette transformation est influencée par les facteurs qui affectent l'activité microbienne. Les facteurs principaux qui influencent cette minéralisation de la M.O dans le sol sont surtout la nature de la celle-ci, la température, l'humidité, le type de sol et les pratiques culturales (Hassan, 2013). Les sources de M.O utilisées étaient de la paille de riz, de blé et du fumier de parc de bovins. La vitesse de minéralisation dépend surtout de la teneur en composés hydrosolubles qui se décomposent rapidement au cours des 04 premières semaines (Benbi et Khosa, 2014).

Le travail du sol influe aussi sur le taux de minéralisation. Il augmente temporairement la répartition et le volume des macropores, assurant ainsi un meilleur régime de l'air et de l'eau dans le sol, ceci étant propice aux processus microbiens de minéralisation (N'Dayegamiye et Drapeau, 2009).

Effet sur le pH eau

Le pH a varié en fonction du taux d'humidité dans les sols incubés. Au cours de l'incubation, il a été observé une formation de l'oxyde de fer ou d'aluminium à la surface des sols en milieu anaérobie. Ces oxydes au contact de l'humidité se fixent en abondance sur le complexe et passent en solution au contact de l'eau. Ils forment des hydroxydes de fer et d'alumine avec production d'ions H⁺ qui élèvent l'acidité. En milieu aérobie, cette baisse a été plus marquée à cause de l'activité plus intense des microorganismes du sol. En milieu

anaérobie, la population des actinomycètes et des champignons décroît rapidement et par conséquent influe peu sur le pH. Selon Ono (1989); la diminution du Eh (pression partielle de CO₂) provoque l'augmentation du pH. Des expériences effectuées par Dicko, 2005 au laboratoire sur l'impact de la gestion de la lame d'eau, du repiquage, des apports d'azote et de leurs interactions sur la dynamique l'azote sur des sols rizicoles alcalins et modérément alcalin ont aussi montré que le pH est lié à la pression partielle de CO₂(Eh).

Effet types de sols, sources de M.O et taux d'humidité sur le N total

La minéralisation a été plus élevée pour les sols en milieu aérobie (0,034 N) qu'en milieu anaérobie (≈ 0,020 N), Tableau 2 et 5. Selon Duguet (2005), le maximum de minéralisation de N serait atteint à une humidité correspondant à 60 à 80 % de la capacité de rétention d'eau, tandis que le pic de dénitrification se produirait pour une humidité égale à la rétention en eau maximale. Cette différence de la cinétique de N est liée aux microorganismes en fonction du taux d'humidité qui peuvent être soit des aérobie ou anaérobies strictes ou facultatifs (Bongoua-Devisme et al. 2013; Tete et al. 2015). La minéralisation dépend également de la composition de la M.O et surtout du rapport C/N (Benbi et Khosa, 2014; Li et Li, 2014). Les M.O incorporées étaient la paille de riz, les tiges de blé et du fumier riche et ont montré des cinétiques de minéralisation différente.

Les incubations ont été réalisées à 32 °C au laboratoire. De récentes études ont montré les processus microbiens sont actifs à des températures variant de 20 à 35 °C (Hassan, 2013). Par ailleurs, l'effet de la température est plus prononcé en milieu anaérobie qu'en milieu aérobie (Benbi et Khosa, 2014). Ils ont également montré qu'à la capacité au champ, 45-66 % du C organique est minéralisé à une température de 35 °C et seulement 18 à 42 % est minéralisé à 15 °C. En condition anaérobie à 35°C, 25 à 47 % est minéralisé contre 7-21 % à 15°C. Ces auteurs ajoutent que l'augmentation de la température de 15 à 35 °C entraîne la minéralisation de 49 à 272 % en condition d'inondation contre 56 à 154 % à la capacité au champ.

La minéralisation de la M.O varie également en fonction des types de sols. Il est plus faible dans les sols argileux où la M.O est protégée par l'argile et plus élevé dans les sols de texture sablonneuse (Angers et al, 2010). Or les sols incubés dans les pots étaient de type limono-sableux.

La différence de cinétique de la minéralisation du N est aussi liée au processus de nitrification et de dénitrification lors des processus d'incubation en milieu aérobie et anaérobie par les (Gregory et Nortcliff, 2013; Hénault et Germon, 1995).

Effet types de sols, sources de M.O et taux d'humidité sur le P assimilable

Beaucoup de facteurs agissent ainsi sur la dynamique du P. La dynamique du P a varié en fonction du pH en conditions aérobie et anaérobie du sol (Tableau 2 et 5). Des incubations effectuées par Rakotoson et al. (2015, 2014) ont trouvé que quand le sol est riche en fer, la minéralisation est active. L'immobilisation du P au cours de la 1^{ère} phase de minéralisation (30^{ème} jour) est due aux microorganismes car ils contiennent 20 à 30 % de la masse totale de P organique. Cette masse de microorganismes doit être en nombre suffisant pour déclencher la minéralisation active (Gregory et Nortcliff 2013). Cette minéralisation du P dans le sol est assurée par les enzymes phosphatases sécrétés par les racines des plantes et les microorganismes notamment les champignons sous culture blé (Babana, 2003). Le P minéralisé a été plus importante en milieu aérobie et anaérobie avec le blé par rapport au riz. Ce qui confirme les idées de Wang Y, et al. (2012) selon lesquelles la nature de l'espèce végétale affecte aussi fortement la composition de la communauté d'espèces mobilisant le P que le mode de culture. Barrow et al. (2015) et Plassard et al. (2015) ont montré aussi que présence du calcium (Ca) est indispensable pendant l'activité catalytique avec un pH optimal neutre ou légèrement alcalin.

Effet types de sols, sources de MO et taux d'humidité sur le K assimilable

Le K assimilable est un élément essentiel pour la croissance et le développement des plantes et est très dynamique dans le sol (Malvi, 2011). La nature du sol intervient également dans la mobilité du K. Les sols riches en vermiculite et en micas ont une grande quantité de K non échangeable par contre ceux qui contiennent de la kaolinite, du quartz ou d'autres métaux siliceux contiennent moins de K assimilable ou échangeable (Malvi, 2011). Or les sols incubés étaient caractérisés par leur faible teneur en argiles avec une forte dominance de la kaolinite (Bationo et al., 2007; Traore, 2016) et riche en sable avec des teneurs de l'horizon de surface (0-20 cm) variant entre 71 et 99 %.

Les résultats ont également révélé que la dynamique du K a varié en fonction du taux d'humidité et de la nature des sources de M.O incorporées. La quantité de K assimilable la plus élevée a été obtenue dans les sols à blé en milieu anaérobie (Tableau 5) par rapport milieu aérobie (Tableau 3). La dynamique du K est liée au processus biochimique et biophysique dans le sol (Gregory et Nortcliff, 2013). Les sols avaient des CEC faibles variant de 7,81 à 10,83 et un pH entre 6,5 et 6,9 avant l'incubation. Ce qui confirme les résultats obtenus par Avery (1990) cité par Gregory et Nortcliff (2013) qui ont montré que la dynamique

des cations est lié à la CEC et au taux de saturation des bases échangeables.

Le sol contient également une grande diversité d'invertébrés (nématodes, collemboles) qui se nourrissent de la M.O et des microbes. Les interactions entre ces microorganismes et les invertébrés affectent ainsi la cinétique de minéralisation des M.O (Gregory et Nortcliff, 2013).

CONCLUSION

La minéralisation au laboratoire de différentes sources de M.O (paille de riz, de blé, fumier) incorporées en milieu aérobie et anaérobie dans des sols a montré que la cinétique des éléments minéraux varie en fonction des types de MO, du temps d'incubation, du taux d'humidité et du type de sol. La minéralisation des éléments NPK est plus importante en milieu aérobie qu'en milieu anaérobie. Par rapport aux types de sols, elle est plus importante dans les sols sous culture blé que sous culture riz. Les taux de minéralisation les plus élevés ont été obtenus respectivement avec le fumier, la paille de riz et la paille de blé. Le pic de minéralisation de l'azote se situe entre le 45^{ème} et le 60^{ème} JAI. Quant au P et K, la phase active de minéralisation se situe au 75^{ème} jour. Cette cinétique de minéralisation des M.O doit être prise en compte pour une meilleure gestion des amendements organiques.

REFERENCES

- [1] Angers D et al. 2010. guide de référence en fertilisation, Centre de référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec édition.
- [2] Babana A.H. 2003. Mise au point d'un inoculant biologique pour le blé irrigué du Mali. Thèse de Doctorat, Université Laval.
- [3] Barrow .N. J., X. H. Feng, et Y. P. Yan. 2015. The Specific Adsorption of Organic and Inorganic Phosphates by Variable-Charge Oxides: Adsorption of Organic and Inorganic Phosphates. European Journal of Soil Science 66 (5): 859- 866.
- [4] Bationo A, Job K, Bernard V., Boaz W., et Joseph K. 2007. Soil Organic Carbon Dynamics, Functions and Management in West African Agro-Ecosystems. Agricultural Systems 94 (1): 13- 25. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.08.011>.
- [5] Benbi .D. K., et M. K. Khosa. 2014. Effects of Temperature, Moisture, and Chemical Composition of Organic Substrates on C

- Mineralization in Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45 (21): 2734- 2753.
- [6] Bi GF Zro, A. Yao-Kouamé, et K. F. Kouamé. 2012 : Évaluation statistique et spatiale de la fertilité rizicole des sols hydromorphes (gleysols) de la région du Bélier (Côte d'Ivoire). *Sommaire /inhoude/ sumario* 30 (4): 236-242.
- [7] Bongoua.D, Affi J., Aurélie C., Koffi E. K, Gballou R. Y, Christian M., et Jacques B. 2013. Microbial Communities Involved in Fe Reduction and Mobility during Soil Organic Matter (SOM) Mineralization in Two Contrasted Paddy Soils. *Geomicrobiology Journal* 30 (4): 347- 361.
- [8] Boyer J. 1978. *Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides*. Initiations, documentations techniques, no 35. Paris: O.R.S.T.O.M.
- [9] Dicko M. 2005. Analyse du fonctionnement d'une parcelle de riz irrigué sur sol alcalin. Application à la gestion intégrée de la fertilisation azotée et du calendrier cultural dans le delta intérieur du fleuve Niger (Mali). Thèse de doctorat: Agro-M-Cirad-Inra. 175 pages
- [10] Duguet F. 2005. Minéralisation de l'azote et du phosphore dans les sols organiques cultivés du sud-[ouest du Québec . *Mémoire de Master en sol et environnement présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval*, 105pages.
- [11] Gregory, P. J.et Stephen N, éd. 2013. *Soil conditions and plant growth*. Chichester, West Sussex, UK ; Ames, Iowa, USA: Wiley-Blackwell.
- [12] Guigue J. 2014. Influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la dynamique de la matière organique du sol à partir de la caractérisation biogéochimique des matières organiques solubles. Université de Bourgogne. Thèse de Doctorat, 229 pages
- [13] Hassan W. 2013. C and N Mineralization and Dissolved Organic Matter Potentials of Two Contrasting Plant Residues: Effects of Residue Type, Moisture, and Temperature. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 63 (7): 642- 652.
- [14] Hénault, C., et J. C. Germon. 1995. Quantification de la dénitrification et des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) par les sols. *Agronomie* 15 (6): 321-355.
- [15] Li Ling-L, et Shu-tian Li. 2014. Nitrogen Mineralization from Animal Manures and Its Relation to Organic N Fractions. *Journal of Integrative Agriculture* 13 (9): 2040- 2048.
- [16] Malvi U.R. 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 24 (1).
- [17] Naresh K R. 2013: Rice residues: from waste to wealth through environment friendly and innovative management solutions, its effects on soil properties and crop productivity. *Int J Life Sci Biotech Pharm Res* 2 (1): 133-141
- [18] Mustafa S et Orhan D. 2014 : Distribution and evaluation of soil fertility based on Geostatistical approach in Bafra Deltaic Plain . *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 1 (2): 186-195.
- [19] N'Dayegaminaye A. 2007. Contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la matière organique. colloque sur l'azote.
- [20] N'Dayegamiye, A., et A. Drapeau. 2009. Influence de la nature des fertilisants apportés sur la dynamique de la structure et les teneurs en carbone et en substances humiques pour un loam argileux Sainte-Rosalie. *Agrosol* 20 (1): 15-22.
- [21] N'Dayegamiye, A., Goulet M., et Laverdière M. R.1997. Effet à long terme d'apports d'engrais minéraux et de fumier sur les teneurs en C et en N des fractions densimétriques et des agrégats du loam limoneux Le Bras. *Canadian journal of soil science* 77 (3): 351-358.
- [22] Neergaard, A. de, et Magid J. 2015. Detritosphere Effects on P Availability and C Mineralization in Soil: Detritosphere Effects on P and C Dynamics. *European Journal of Soil Science* 66 (1): 155- 165.
- [23] Ono S-I. 1989. Nitrogen Mineralization from Paddy and Upland Soils under Flooded and Nonflooded Incubation . *Soil Science and Plant Nutrition* 35 (3): 417- 426.
- [24] Peukert, S., Griffith B. A., Murray P. J., Macleod C. J. A.,et Brazier R. E.. 2016: Spatial Variation in Soil Properties and Diffuse Losses between and within Grassland Fields with Similar Short-Term Management:

- Soil Spatial Variation in Grasslands. *European Journal of Soil Science* 67 (4): 386- 396.
- [25] Plassard C., Agnès R., Edith Le Cadre-B., Claire M., Jean T., Laetitia H. K. W., et al. 2015. Améliorer la biodisponibilité du phosphore: comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol. *Innovations Agronomiques* 43: 115-138.
- [26] Qiu H., Tida G., Jieyun L., Xiangbi C., Yajun H., Jinshui W., Yirong S, et Yakov K.. 2018. Effects of biotic and abiotic factors on soil organic matter mineralization: Experiments and Structural Modeling Analysis. *European Journal of Soil Biology*. 27-34
- [27] Rakotoson, T., F. Amery, L. Rabeharisoa, et E. Smolders. 2014. Soil Flooding and Rice Straw Addition Can Increase Isotopic Exchangeable Phosphorus in P-Deficient Tropical Soils. *Soil Use and Management*. 189-197
- [28] Rakotoson, T., L. Six, M. P. Razafimanantsoa, L. Rabeharisoa, et E. Smolders. 2015. Effects of Organic Matter Addition on Phosphorus Availability to Flooded and Nonflooded Rice in a P-Deficient Tropical Soil: A Greenhouse Study. *Soil Use and Management* 31 (1): 10- 18.
- [29] Singh, V. K., M. Rani, B. S. Dwivedi, S. K. Singh, V. K. Gupta, K. Majumdar, et R. P. Mishra. 2015: Soil Organic Carbon Stock Variability in the Northern Gangetic Plains of India: Interaction between Agro-Ecological Characteristics and Cropping Systems. Édité par Qiubing Wang. *Soil Use and Management* 31 (4): 461- 473
- [30] Tete, E., V. Viaud, et C. Walter. 2015. Organic Carbon and Nitrogen Mineralization in a Poorly-Drained Mineral Soil under Transient Waterlogged Conditions: An Incubation Experiment: Carbon and Nitrogen Mineralization. *European Journal of Soil Science* 66 (3): 427- 437.
- [31] Theriault V., Melinda S., et Amidou A. 2018. The Malian Fertiliser Value Chain Post-Subsidy: An Analysis of Its Structure and Performance . *Development in Practice* 28 (2): 242- 256.
- [32] Touhtouh. D., R. EL Halimi, Y. Moujahid, et E. M. El Faleh. 2014 : Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude des caractéristiques physicochimiques des sols de saïs, Maroc (application of multivariate statistical analysis methods to the study of physico-chemical characteristics of soils saïs. *European scientific journal*, esj 10 (15).
- [33] Traoré B., 2016. interaction argiles-pesticides dans les sols de l'Office du Niger, thèse de doctorat, USTTB- Mali, 140 pages
- [34] Wang Y, et al.(2012)|SGD. s. d. Consulté le 8 novembre 2016. <http://www.yeastgenome.org/reference/S000150439/overview>.