



Contribution à la caractérisation physico-chimique des sols d'Oicha : cas de la concession Kivu-agri Oicha, au Nord-Kivu/RDC

Elikya Yedidya Musangania¹, Gloire Kavugho Muvunga², Gilbert Paluku Mutiviti³

Résumé

Cette étude vise la connaissance des sols, l'établissement des leviers de prise des décisions pouvant aider à l'accroissement de la production végétale et à la bonne gestion desdits sols. Il s'agissait plus précisément, pour ce cas, d'examiner les propriétés physico-chimiques de la concession de l'entreprise Kivu-agri situé à Oicha, en Province du Nord-Kivu, en République Démocratique du Congo, afin de la caractériser sur cette base.

Des échantillons de sol ont été prélevés sur le site en étude de la surface jusqu'à 30 cm de profondeur. De ces prélèvements, a été constitué un échantillon composite qui a servi pour des analyses au laboratoire. Les paramètres qui ont été déterminés sont le pH, la concentration en potassium, sodium, calcium, magnésium, azote, phosphore et fer, la capacité d'échange cationique, les matières organiques et la texture du sol.

Par ailleurs, des échantillons non perturbés ont également été prélevés dans le même volume de sol pour la détermination de la porosité. Les résultats ont montré un sol très acide ($\text{pH}_{\text{eau}} = 4,94$ et $\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,01$), une capacité d'échange cationique de 180 méq/kg de sol sec, les rapports déséquilibrés entre minéraux du sol (taux de saturation de 46,36 %) et les matières organiques insuffisantes, soit 1,4 %, valant au sol le qualificatif de pauvre en matières organiques, une porosité de l'ordre de 50 % et une texture limono-sableuse (61,34 % sable, 26,36 % limon et 12,3 % argile).

Mots-clés : Caractérisation, sols, granulométrie, propriétés chimiques, propriétés physiques

Abstract

The aim of this study is to gain a better understanding of soils and to establish the decision-making levers that can help increase crop production and ensure the

¹ Ingénieur en formation en Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu/RDC) : elikyayems@gmail.com

² Chef de Travaux en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu/RDC).

³ Professeur Ordinaire en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu/RDC) : malkakuva@gmail.com.

proper management of these soils. More specifically, the aim of this case study was to examine the physico-chemical properties of the Kivu-agri company's concession in Oicha, in the Province of North Kivu, in the Democratic Republic of Congo, in order to characterise it on this basis.

Soil samples were taken on the study site from the surface to a depth of 30 cm. A composite sample was taken from these samples and used for laboratory analysis. The parameters determined were pH, concentration of potassium, sodium, calcium, magnesium, nitrogen, phosphorus and iron, cation exchange capacity, organic matter and soil texture.

Undisturbed samples were also taken from the same volume of soil to determine porosity. The results showed a very acidic soil (pH water = 4.94 and pHKCl = 4.01), a cation exchange capacity of 180 méq/kg of dry soil, unbalanced ratios between soil minerals (saturation rate of 46.36 %) and insufficient organic matter (1.4 %), giving the soil a poor organic matter content, a porosity of around 50 % and a silty-sandy texture (61.34 % sand, 26.36% silt and 12.3 % clay).

Key words: Characterisation, soils, granulometry, chemical properties, physical properties.

1. Introduction

En cette première moitié du 21^{ème} siècle, l'un des défis majeurs auxquels fait face le monde entier est l'éradication de la famine. En effet, en 2010, le nombre d'êtres humains vivant dans une famine aiguë était estimé à 850 millions, une situation qui devra probablement s'accroître avec l'explosion démographique si rien n'est fait pour y remédier (BRUNO, 2014).

Au niveau mondial, les origines de la famine peuvent être classifiées en deux catégories d'obstacles d'accès à l'alimentation : l'obstacle économique, où la nourriture est disponible mais hors de la portée financière de la population, et l'obstacle physique ou géographique, où la nourriture est tout simplement indisponible (BENOIT, 2016). Cette inaccessibilité physique à la nourriture, en plus d'être due à de nombreux facteurs, peut aussi résulter du rendement agricole insuffisant.

Les statistiques de la FAO montrent une évolution positive des productions végétales entre les années 1950 et 2000 (FAO, 2000). Pourtant, ces productions semblent ne pas suffisamment combler les trous des carences sur le marché des produits agricoles, un rappel que plus d'efforts doivent encore être fournis afin d'accroître la production. Pour ce faire, la connaissance préalable de l'état des sols et les différentes composantes de la production afin de les utiliser dans la bonne gestion des sols et les différentes décisions visant l'augmentation de la production agricole.

Pourtant, les problèmes liés aux sols sont plus nombreux, parmi lesquels l'on peut citer le problème de la disponibilité en eau et en air, en éléments nutritifs, le problème relatif à la capacité de rétention des éléments nutritifs, la salinité, la toxicité, les problèmes d'érosion, de pollution des sols, compaction, perte de matières organiques, d'acidification, etc.

Ainsi, pour faire face à ces différents problèmes qui menacent les sols dans diverses régions du monde, les sols sont caractérisés et cette caractérisation permet de diagnostiquer les contraintes et les potentialités de production du sol, d'identifier et cartographier les unités pédologiques et enfin de déterminer le degré d'amélioration requis en vue de relever la productivité par l'utilisation rationnelle des terres (MUTIVITI, 2020).

Les rôles des sols pour les végétaux sont suffisamment connus de nos jours. En effet, en tant qu'un des éléments de base dans la production agricole, le sol sert de support à la plante (KELLOG cité par VILAIN, 1997), et lui assure un développement normal grâce à sa structure meuble et sa composition chimique (DIEHL cité par VILAIN, 1997)

De ce qui précède, il est clair qu'il est nécessaire voire impérieux de veiller sur la qualité des sols afin de minimiser les risques probables que leur évolution négative peut entraîner. Au fil des décennies, une multitude d'outils ont été élaborés afin d'assister les agriculteurs dans la gestion de leurs sols, englobant diverses mesures telles que prélèvement des échantillons du sol, l'analyse des paramètres du sol, l'amélioration des recommandations en matière de fertilisation, la mise en place de dispositifs pour minimiser l'érosion et l'adaptation des pratiques de travail du sol. Malgré la progression de l'agriculture de précision, il est frappant de constater que de nombreux agriculteurs négligent encore l'analyse de leurs terres (CREMER, 2020), ce constat étant particulièrement marqué dans notre région, et plus spécifiquement à Oicha.

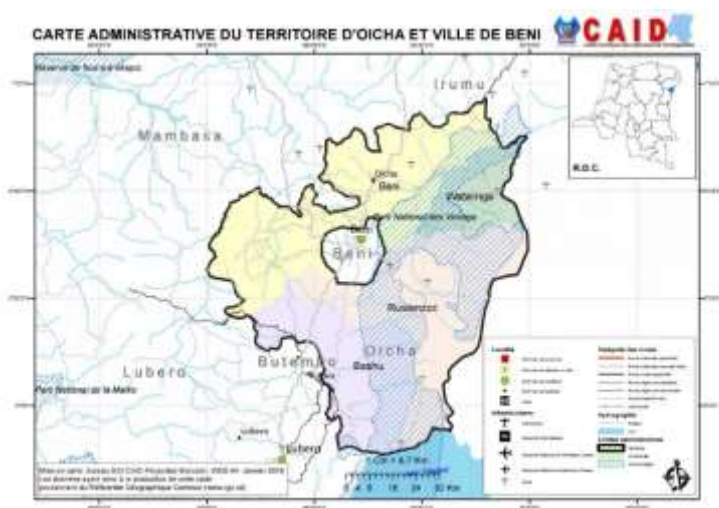
Dans cette optique, l'élaboration de cet article vise à approfondir la compréhension de la qualité physico-chimique des sols d'Oicha. Son objectif est d'accroître les connaissances sur les caractéristiques et les limitations des sols de la région, afin de déceler les leviers sur lesquels intervenir en vue d'une gestion efficace de ces sols et de leur fertilité. Ainsi, cette étude aspire à fournir des informations précieuses pour orienter les actions visant à optimiser la gestion des sols dans cette zone spécifique.

2. Méthodologie

2.1. Milieu d'étude

Cette étude a été effectuée sur un site de 12 ares situé à Oicha, une commune rurale de la Province du Nord-Kivu, chef-lieu du Territoire de Beni en République Démocratique du Congo. Oicha est localisé à 0°41'51.36" N et 29°31'6.66" E à 1055 m d'altitude (données prélevées par un smartphone sous Android, Infinix S5, dans l'application « ma position »). L'enquête a couvert une période de quatre mois, du 13 juin au 19 septembre 2021.

Fig.1. Carte administrative du territoire d'Oicha et Ville de Beni



2.2. Collecte des échantillons

Trente prélèvements d'un volume de sol perturbé de 30 cm³ ont aléatoirement été effectués sur le terrain en étude, entre zéro et trente centimètres de profondeur chacun. Ces volumes de sol ont été prélevés dans un terrain agricole localisé à Oicha (0°42'34.002" N et 29°31'14.64" E, 1037 m d'altitude), en utilisant un système de coordonnées avec un croquis échelonné du terrain. Sur le croquis, chaque point du terrain étant représenté par une abscisse et une ordonnée, la table des nombres aléatoires était utilisée afin de choisir les points qui ont fait l'objet des prélèvements.

Un échantillon composite, destiné à la granulométrie et à la détermination des concentrations des éléments chimiques du sol en étude et

des paramètres dérivés, a été constitué à partir de trente prélèvements individuels effectués sur le terrain de 12 ares. L'échantillon composite a été constitué en mélangeant les échantillons individuels récoltés sur le terrain afin d'obtenir des valeurs moyennes des analyses effectuées. Également, 10 échantillons non perturbés de sol ont été récoltés sur le même terrain de 12 ares avec des cylindres de 288 cm³ afin de déterminer la porosité totale de l'horizon superficiel du sol.

2.3. Méthodes d'analyse

Les différentes analyses que nous avons effectuées l'ont été au laboratoire central de l'UCG. L'analyse granulométrique a été effectuée cinq fois sur des prélèvements différents dans l'échantillon composite et les valeurs retenues et présentées sont des moyennes des valeurs obtenues après analyse. Le même procédé de considération de la valeur moyenne a aussi été appliqué pour les teneurs en matières organiques. Cependant, pour la détermination des concentrations de différents cations et éléments chimiques majeurs, les mesures n'étaient pas répétées compte tenu du coût de ces analyses.

La texture du sol a été déterminée par la méthode de pipette, la capacité d'échange cationique (CEC) par la méthode d'acétate d'ammonium (PAUWELS, 1992). Le potassium, le sodium, le calcium, le magnésium, le phosphore et le fer ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique sur des extraits de sol obtenus par minéralisation respectivement par les méthodes de sodium tétraphénylboron (CYPRESS DIAGNOSTICS, 2016a), magnésium acétate d'uranyle (CYPRESS DIAGNOSTICS, 2016b), arsenazo III (CYPRESS DIAGNOSTICS, 2010), xylidyl bleu EGTA (CYPRESS DIAGNOSTICS, 2019), molybdate d'ammonium (BIOLABO, 2011b) et de férène (BIOLABO, 2011a)..

Nous avons également déterminé la teneur en azote par la méthode Kjeldhal (PAUWELS, 1992) et la teneur en matières organiques du sol par oxydation de l'échantillon de sol à la chaleur sèche où la différence entre la cendre et la matière sèche a donné la quantité de matières organiques (PAUWELS, 1992). Le pH eau, donnant une idée sur l'acidité actuelle, et le pH au KCl, donnant une idée sur l'acidité potentielle, ont été mesurés par électrométrie dans un rapport 1/2.5. La porosité totale a été obtenue par le rapport : $\frac{2,65 - \text{densité apparente}}{2,65}$, où densité apparente = $\frac{\text{masse du sol sec}}{\text{volume du cylindre}}$,

le sol remplissant le cylindre ayant été séché à 105°C pendant 24 heures (SOLTNER, 2014).

2.4. Traitement des données

Dans le cadre de cet article, nous avons eu recours au calcul des moyennes pour les diverses données recueillies. Les résultats de différentes analyses du sol ont été comparés à des valeurs seuil de la littérature ou à des normes de référence internationales. Nous avons également eu à déterminer l'indice de battance IB pour évaluer la susceptibilité du sol à la battance et l'indice de matières organiques (IM) pour en juger de la richesse en matières organiques, selon les formules :

$$IB = \frac{1,5 \times (\% \text{ Limons fins}) + 0,75 \times (\% \text{ Limons grossiers})}{\% \text{ Argiles} + (10 \times \% \text{ Matière organique})} - c$$

Avec $c = 0,2$ si $pH > 7$ ou $c = 0$ si $pH < 7$.

$$IM = \frac{\% \text{ matière organique} \times 100}{\% \text{ argile}}$$

En effet, l'on considère qu'un sol est non battant quand $IB < 1,4$; qu'il est peu battant quand IB est compris entre 1,4 et 1,6 ; assez battant quand IB se trouve entre 1,6 et 1,8 ; battant quand $1,8 < IB < 2$; et très battant quand $IB > 2$. Aussi, un sol est dit pauvre en matières organiques si $IM < 17$ et riche en matières organique si $IM > 17$ (SOLTNER, 2014).

Les valeurs de la somme de cations basiques échangeables (S), d'acidité d'échange (Ae) et du taux de saturation (V) ont aussi aisément été déduites des données sur la capacité d'échange cationique (CEC ou T) et celles sur les concentrations de divers cations du sol (GOBAT *et al.*, 2017 ; SOLTNER, 2014 ; CALVET, 2003 ; COMBEAU *et al.*, 1970 ; BAIZE, 2018) :

$$S = [K] + [Na] + [Ca] + [Mg]$$

Avec [X] la concentration de l'élément X,

$$Ae = T - S$$

$$V = \frac{S}{T} \times 100$$

3. Résultats et discussion

L'analyse granulométrique du sol étudié, par ses résultats, a montré un sol à texture limono-sableuse, selon le triangle textural du Soil Survey Manual, alors que la porosité totale est de 54,45 %. Une grande proportion de particules grossières favorise la porosité du sol. Par contre, celle de particules fines vont dans le sens opposé (SOLTNER, 2014). Il est donc normal par l'action des particules grossières que la porosité de ce sol soit supérieure à 50 %. Selon GWENDAL (1973), les terres limono-sableuses contenant moins de 15 % d'argiles sont très sensibles à la compaction et ont les plus mauvaises réactions aux phénomènes de tassement et de coalescence et ceci aux faibles humidités. Ce risque ne serait donc pas à négliger dans le cas présent.

Par ailleurs, s'agissant du pH, les données y relatives laissent voir un sol très acide (COMBEAU *et al.*, 1970), avec un pH_{eau} de 4,9. Du point de vue agronomique, à cette valeur de pH peuvent s'observer des phénomènes de toxicité et notamment celui de la toxicité aluminique qui peut déjà être à craindre à partir d'un pH de 5,5. À cette valeur de pH peut survenir le blocage de plusieurs autres éléments chimiques du sol, à l'instar du phosphore, du potassium, de l'azote, du magnésium, du soufre et du molybdène (BOYER, 1978; SOLTNER, 2014).

Pour un pH inférieur à 5,5 l'assimilation de plusieurs minéraux devient déjà très difficile et s'accroît avec la diminution du pH. Presque tous les éléments essentiels à la plante se trouvent difficilement assimilables par celle-ci. La décomposition des matières organiques est aussi ralentie par l'acidification (PAPADOPOULOS, 1991). La plupart des éléments nutritifs sont davantage assimilables de manière optimale par les plantes dans la gamme de pH de 6 à 7 (PAPADOPOULOS, 1991; SOLTNER, 2014). La non-assimilation par beaucoup de plantes des minéraux essentiels du sol et leur blocage à des pH très acides pourrait expliquer la présence des quantités relativement élevées des minéraux les plus souvent apportés par les engrais et les amendements.

La capacité d'échange cationique est bonne (180 méq/kg de sol sec) contrairement au taux de saturation qui lui est faible (46,35 %), comparée aux valeurs de référence respectives : 120-200 méq/kg de sol sec et 99 % de la capacité d'échange cationique (COLLAUD *et al.*, 1990; SOLTNER, 2014). La faible valeur du taux de saturation pourrait être due à une plus forte occupation du complexe adsorbant par les ions Al^{3+} et H^+ , tandis que

celle de la capacité d'échange cationique serait la résultante d'un faible taux d'argiles (12,3 %). Comme la concentration des ions Al^{3+} et H^+ n'intervient pas dans la détermination du taux de saturation, cela entraîne une diminution de ce dernier dès que la concentration des ions Al^{3+} augmente sur le complexe adsorbant et inversement.

En effet, lorsque le pH atteint un niveau inférieur à 5, on observe une augmentation significative de la présence d'aluminium ionique qui devient le cation prédominant sur le complexe adsorbant du sol. (BOYER, 1978). Dans les conditions d'un taux de saturation inférieur à 60 % et une capacité d'échange cationique moyen, COLLAUD *et al.* (1990) conseillent un chaulage moyen du sol. La concentration de calcium observée est de 2,5 méq/kg de sol sec, ce qui équivaut à environ 1,4 % de la capacité d'échange cationique. Cependant, il convient de souligner que la quantité optimale de calcium dans le sol devrait représenter 75 % de la capacité d'échange cationique (SOLTNER, 2014). Dans le cas présent, elle devrait alors être égale à 135 méq pour 1 kg de sol sec. Il manque donc à ce sol 132,5 méq, soit 98,15 % de la valeur attendue, ou encore 19,61 tonnes par hectare. Il est donc recommandé d'apporter du calcaire à ce sol, surtout du calcaire pulvérulent pour que les ions H^+ soient arrachés du complexe adsorbant afin d'y créer des sites négatifs qui seront occupés par les ions Ca^{2+} . En considérant que sur 1 ha, à une profondeur de 30 à 40 cm, un sol contient en moyenne 4000 tonnes de terre fine (SOLTNER, 2014), on peut aisément établir qu'il faut 19,61 tonnes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ à un sol qui a besoin de 132,5 méq de Ca/kg. En effet, 132,5 méq de Ca/kg de sol équivaut à 132,5 éq-g/t. Prenant en compte le volume moyen de terre fine sur un hectare à une profondeur de 40 cm, on peut alors déduire que l'on doit apporter $132,5 \times 4000$ éq-g de Ca/ha, soit 530 000 éq-g de Ca, correspondant à 10,6 tonne de calcium par hectare ($m = \frac{n_{\text{éq-g}} \times M_m \times 10^{-3}}{x}$). Il faut alors apporter $10,6 \times \frac{74}{40}$ tonnes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, soit 19,61 tonnes par hectare.

La saturation du complexe adsorbant par le calcium présente une grande variabilité, pouvant s'étendre de 1 % à 90 % dans les sols ferralitiques. Cependant, il convient de noter que des cas de désaturation avancée sont fréquemment observés dans les régions à climat humide, même en l'absence de pratiques agricoles intensives (BOYER, 1978). Par ailleurs, la teneur en matières organiques attendue d'un sol est de 3 % au minimum (SOLTNER, 2014). Or, celui-ci n'en a que 1,4 %. Ce sol manque donc 1,6 % de matière organique. En considérant également ici que sur 1 ha à une profondeur de

30 à 40 cm un sol contient en moyenne 4 000 tonnes de terre fine (SOLTNER, 2014), on peut aisément établir qu'il faut à ce sol $4\,000 \times 1,6\%$ de matières organiques par hectare soit 64 tonnes par hectare. Le sol en étude connaît donc un double problème. Pour l'endiguer, il serait impérieux de lui apporter, à l'hectare, à la fois 19,61 tonnes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et 64 tonnes de matières organiques. L'action la moins coûteuse pour remédier à ce grand besoin en matières organiques sur ce sol serait de lui restituer les résidus des récoltes.

On note également la présence en proportions élevées de cations monovalents sur le complexe adsorbant. Le potassium représente 27,7 % de la capacité d'échange cationique. Pourtant, il est recommandé entre 3 ou 4 et 5 % de celui-ci (COLLAUD *et al.*, 1990; SOLTNER, 2014). Le potassium est donc surreprésenté sur le complexe adsorbant, 5 à 7 fois. Or, en quantité très élevée, le potassium a un effet dispersant pour le sol (FARAHANI *et al.*, 2018). Il en va de même pour le sodium qui représente 3,9 % du complexe adsorbant, pourtant recommandé autour de 1 % de celui-ci (SOLTNER, 2014). Ce sol est donc exposé à la dispersion de ses argiles, et partant à la compaction. Le rapport Ca/Mg du sol étudié est de l'ordre de 0,1. Or, un déséquilibre dans les proportions relatives de calcium et de magnésium peut avoir un impact sur les propriétés structurales des sols, notamment lorsque le rapport Ca/Mg est inférieur à 1. Généralement, la valeur optimale de ce rapport en zone tropicale est de l'ordre de 1,5 à 5 (BOYER, 1978). Le taux du calcium dans ce sol est moins important que celui du magnésium. Ce cas ne s'éloigne pas des données recueillies sur plusieurs autres sols du monde. En effet, dans les sols pédologiquement évolués, on observe généralement que les réserves de calcium sont proportionnellement moins importantes que les réserves de magnésium (BOYER, 1978). Le rapport K/Mg est de l'ordre de 2,09. Or, il devrait se situer idéalement entre 0,6 et 0,8 (SOLTNER, 2014). Dans le cas présent, ce rapport est largement supérieur.

Les données relatives aux cations du sol montrent des rapports déséquilibrés entre ces cations. Celles sur les matières organiques ont permis de qualifier le sol en étude de pauvre en matières organiques en s'appuyant sur l'indice IM qui était inférieur à 17. Plus un sol a moins de matières organiques, plus son érodibilité est grande (QUANTIN & COMBEAU, 1962). La pauvreté en matières organiques du sol étudié et la susceptibilité à la dispersion de ses argiles laissent à craindre une sensibilité à l'érosion de celui-ci. Cependant, à ce stade de l'étude, la question de savoir

dans quelle mesure il y est sensible demeure sans réponse. Dans la même province, d'autres chercheurs ont fait des études sur la caractérisation granulométrique et chimique des sols. À Butembo, par exemple, MUTIVITI (2020) trouve des sols à texture limon argile sableux et limon argileux, des valeurs de pH retrouvées entre des pH très acides et acides. VYAKUNO (2006) trouve également des pH très acides ou acides sur des sols des collines de Kyondo, mais il y trouve également que la concentration du calcium dans le sol est plus élevée que celle du Magnésium.

Tableau 1. Les concentrations de quelques éléments chimiques dans le sol étudié

N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe
méq/kg de sol sec						
5,1	4,3	50	7	2,50	23,95	5,7

Source : Nos recherches

Tableau 2. Les caractéristiques du complexe adsorbant et le pH du sol étudié

CEC (T)	S	Ae	V	pH		ΔpH
méq/kg de sol sec			%	KCl	Eau	
180	83,45	96,55	46,36	4,01	4,94	0,93

Source : Nos recherches

Tableau 3. La texture à 5 partitions du sol étudié

Sable grossier	Sable fin	Limon grossier	Limon fin	Argile
%				
36,37	24,97	8,41	17,95	12,3

Source : Nos recherches

Tableau 4. La texture à 3 partitions du sol étudié

Sable	Limon	Argile
%		
61,34	26,36	12,3

Source : Nos recherches

La combinaison des données relatives à la texture à 5 partitions permet d'avoir des informations sur la texture à 3 partitions. Les données

correspondantes sont répertoriées dans le tableau 4 ci-haut. Elles permettent de constater que la partition dominante du sol étudié est celle de sables et la moins abondante celle d’argiles. En rapportant ces données dans le triangle textural du *Soil Survey Manual*, l’on remarque que le sol étudié est du type limono-sableux (voir le triangle ci-dessous).

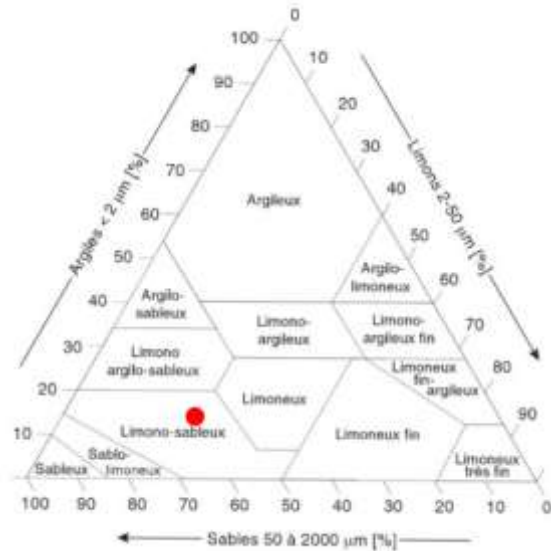


Tableau 5. La porosité, les matières organiques du sol étudié et quelques indices dérivés

Porosité totale (%)	Matières organiques (%)	IB	IM
54,45	1,4	1,26	11,38

Source : Nos recherches

Conclusion et suggestions

L’objectif général de cet article a été de caractériser le sol du point de vue physico-chimique afin de déceler les leviers sur lesquels agir en vue de doter ledit sol d’une bonne gestion dudit sol et de sa fertilité. Pour ce faire, nous sommes passés par un certain nombre d’objectifs spécifiques.

À l’issue de cette étude, les conclusions suivantes ont été formulées :

- Le sol étudié a une texture sablo-limoneuse selon la classification du *Soil Survey Manual* ;
- Il est pauvre en matières organiques ;
- Il est très acide ;

- La porosité totale est estimée à environ 50 % ;
- Les proportions sur le complexe adsorbant en Ca^{2+} et en Mg^{2+} sont largement inférieures aux normes ;
- Les ions K^+ et Na^+ , par contre, sont en proportions élevées sur le complexe adsorbant par rapport aux normes y relatives ;

Malgré des quantités assez élevées en certains minéraux dans ce sol dépassant des valeurs consommées à l'hectare pour beaucoup de cultures, le pH de celui-ci lui est une contrainte majeure car étant à la base du blocage de beaucoup d'éléments chimiques, leur faible assimilation par les plantes et des phénomènes de toxicités. Ceci permet de confirmer l'hypothèse nulle de ce travail qui suggérait que le sol faisant l'objet de cette étude aurait des propriétés physico-chimiques moins propices aux cultures y pratiquées.

Au regard de ces conclusions, nous avons formulé les suggestions suivantes en vue d'une gestion optimale du problème du sol étudié :

- Faire un chaulage du terrain en suivant les normes y relatives ;
- Et/ou apporter de la matière organique sur le terrain.

Cependant, il serait plus préférable de remonter le pH au préalable par le chaulage avant tout apport des matières organiques pour favoriser la décomposition de ces dernières.

Références bibliographiques

- BAIZE, D. (2018). *Guide des analyses en pédologie : 3e édition revue et augmentée* (Vol. 328). Quae.
- BENOIT, C. (2016). *La cuisine du futur c'est maintenant*. Edipro.
- BIOLABO. (2011a). *Fer. Méthode directe (férène)*. www.biolabo.fr
- BIOLABO. (2011b). *Phosphore Inorganique Méthode U.V.* www.biolabo.fr
- BOYER, J. (1978). *Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides*. O.R.S.T.O.M.
- BRUNO, P. (2014). *Faim zéro : En finir avec la faim dans le monde*. La découverte.
- COLLAUD, G., RYSER, J., & SCHWARZ, J. J. (1990). Capacité d'échange des cations. *Revue Suisse Agric.*, 22, 285-289.
- COMBEAU, A., SEGALIN, P., & BACHELIER, G. (1970). *L'étude des sols au laboratoire. Caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et minéralogiques*.

- CREMER, S. (2020). *Pourquoi réaliser des analyses de sol. La lettre paysanne* (Vol. 102).
- CYPRESS DIAGNOSTICS. (2010). *Calcium—Arsenazo III*. <https://diagnostics.be>
- CYPRESS DIAGNOSTICS. (2016a). *Potassium – sodium tétraphénylboron*. <https://diagnostics.be>
- CYPRESS DIAGNOSTICS. (2016b). *Sodium – magnésium acétate d'uranyl*. <https://diagnostics.be>
- CYPRESS DIAGNOSTICS. (2019). *Magnésium – xylidyl bleu EGTA*. <https://diagnostics.be>
- FAO. (2000). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Enseignements des 50 dernières années*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FARAHANI, E., EMANI, F., KELLER, T., FATOVAT, A., & KHORASSANI, R. (2018). Impact of monovalent cations on soil structure. *Int. Agrophys.*, 32, 57-67. <https://doi.org/doi: 10.1515/intag-2016-0091>
- GWENDAL, M. (1973). *Tassement et compaction. Etudes du CNEEMA*. 13-20.
- MUTIVITI, P. G. (2020). *Où vont nos sols ?* (Parcours et Initiatives du Graben). Centre de Recherche Interdisciplinaire du Graben.
- PAPADOPOULOS, A. P. (1991). La culture des tomates en serre, sur sol et sans sol. *Agriculture Canada Publication 1865/F*, 18-22.
- PAUWELS, J. M. (1992). *Manuel de laboratoire de pédologie : Méthodes d'analyse de sols et de plantes, équipement, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques* /. Centre universitaire de Dschang. Département des sciences du sol,.
- QUANTIN, P., & COMBEAU, A. (1962). Erosion et stabilité structurale du sol. *International Association of Scientific Hydrology Publication*, Vol. '59.
- SOLTNER, D. (2014). *Les bases de la production végétale, tome 1. Le sol et son amélioration*. Technique et Documentation.
- VILAIN, M. (1997). *La production végétale : « les composantes de la production »*. Technique et Documentation.
- VYAKUNO, K. E. (2006). *Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en RDC. Rapport entre société et milieu*

physique dans une montagne équatoriale, Tome I [Thèse de doctorat].
Université de Toulouse II.