

Fertilisation et gradients de potassium dans des sols en pente au Maroc

Aït Houssa Abdelhadi, P. Villemin

En milieu naturel, pour les terrains plats ou à pente très faible où les particules de sol ne migrent pas latéralement, l'hétérogénéité spatiale du potassium à l'échelon parcellaire est aléatoire et non modélisable. En sol cultivé, elle est fréquemment liée aux pratiques culturales ou à l'historique de fertilisation, de sorte que le conseil de fumure établi sur l'analyse de terre sera un compromis entre une « surfertilisation partielle du sol » ou une « sous-fertilisation », en fonction du degré d'intensification du système de culture [1]. Dans les terrains en pente où le sol n'est pas en équilibre, d'importantes migrations de matières, colloïdes entre autres, se font de haut en bas des parcelles par érosion ou par lessivage oblique [2-5]. Le potassium étant un élément fortement lié à la matière minérale fine concernée par ces migrations, nous avons étudié la modélisation du gradient de K dans un sol de parcelle en pente, afin de suggérer des modes de raisonnement de la fertilisation adaptés à ce type de situations.

Onze séries d'échantillons (12 à 15 prélèvements par série, espacés de 10 à 15 m, constitués chacun d'une dizaine de carottes individuelles de 30 cm de

profondeur) ont été prélevées au Maroc en 1987 et 1988 dans les régions du Saïs, du Gharb, de Khemisset, Mohammédia et Casablanca (pluviométrie supérieure à 400 mm/an). Les parcelles présentaient des pentes de 6 à 15 % en sols argileux (21 à 45 % d'argiles), de 3 à 8 % en sols sableux (7 à 11 % d'argiles). Le K échangeable (K éch.) a été extrait par l'acétate d'ammonium 1 N et à pH 7.

Les résultats obtenus sur deux parcelles (P2 et P8) bien différenciées sont présentées dans les figures 1 et 2. En sols argileux (parcelle P2), le K éch. le long de la ligne de plus grande pente diminue à mesure qu'on s'éloigne du bas-fond. Toutefois, ce gradient de K éch. n'est pas régulier à cause de poches d'accumulation d'éléments fins (présence de dents de scie), correspondant aux hétérogénéités

intrinsèques des sols [1]. L'écart absolu de K éch. entre le bas et le haut de la pente est parfois considérable, même sur des pentes relativement courtes (par exemple des écarts de 500, 375 et 330 mg/kg sur moins de 250 m de distance). En outre, lorsque le haut de la pente se termine par une importante zone d'inflexion (*waxing slope*) pour se raccorder soit au bas d'une seconde pente, soit à la surface horizontale du sommet, une inversion terminale du gradient du K se produit (au centre et à droite de la courbe, figure 1), traduisant une nouvelle zone d'enrichissement.

En sols sableux, on n'observe pas de gradient (figure 2), mais le nombre de parcelles examinées est trop faible pour conclure : il s'agit de sols de maraîchage de plein champ fortement fertilisés où les hétérogénéités dans les apports

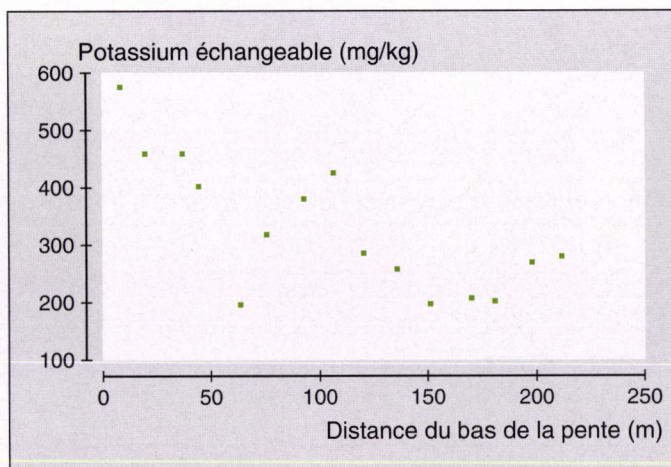


Figure 1. Variations des teneurs en potassium échangeable sur la parcelle P2 (argileuse, 38 % d'argiles, pente 6 %, région du Saïs).

Figure 1. Exchangeable K content variations in the P2 field (38 % clay, 6 % slope, Saïs region).

Aït Houssa Abdelhadi : École nationale d'Agriculture de Meknès, BO S/40, Meknès, Maroc.
P. Villemin : Centre de Recherches SCPA, 68700 Aspach-le-Bas, France.

Tirés à part : A. Aït Houssa

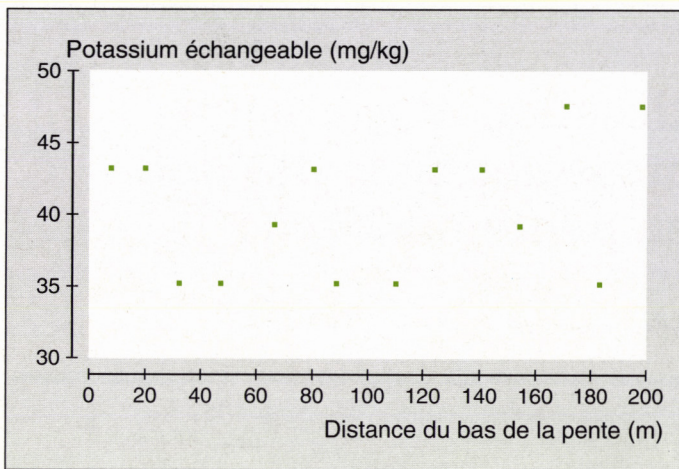


Figure 2. Variations des teneurs en potassium échangeable sur la parcelle P8 (sableuse, 7 % d'argiles, pente 8 %, région de Mohammédia).

Figure 2. Exchangeable K content variations in the P8 field (7% clay, 8% slope, Mohammedia region).

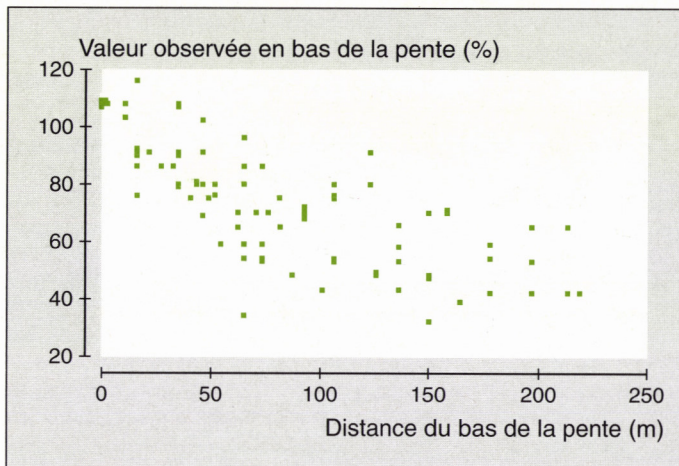


Figure 3. Variations des teneurs en potassium échangeable normées le long de la ligne de plus grande pente pour l'ensemble des sols argileux

Figure 3. Standardized exchangeable K content variations on the steepest slope for all clay soils.

d'engrais antérieurs sont importantes. Par ailleurs, les parcelles sableuses présentent les pentes les plus faibles avec, en climat relativement pluvieux, un lessivage vertical de K qui pourrait être plus fort que l'entraînement oblique. Enfin, ces terres sont pauvres en colloïdes, de sorte que la migration de K, lié à la fraction la plus fine, devrait être plus faible qu'en terres argileuses. Les argiles migrent le long de la pente par entraînement hydrique ; leurs contenus sont dans

plus de la moitié des cas corrélés positivement à celui du K éch. (tableau 1). Le calcaire total (CaCO_3), qui reflète la décapsulation du haut de la pente, est corrélé négativement au potassium échangeable. Aucune autre tendance ne se dessine, ce qui renforce l'impression d'une certaine hétérogénéité donnée par les résultats des corrélations K éch./argiles. Il y a manifestation interaction entre les ruptures de pente, les pratiques de fertilisation et les cultures sur la dynamique

des éléments fins le long des pentes étudiées. La richesse très différente des divers milieux échantillonnés interdit, pour raison d'homogénéité, de mettre au point un modèle de variation du K éch. le long de la pente pour l'ensemble des situations. Aussi a-t-on exprimé les données en % de la première valeur observée en bas de la pente, égale en général à K éch. maxi. Le nuage de la figure 3 traduit le résultat d'une telle transformation pour l'ensemble des parcelles argileuses et son interprétation fait l'objet de l'encadré 1.

La qualité du conseil de fertilisation est fonction de la précision avec laquelle K éch. (bas) est obtenu. Il y a à cet égard deux sources de variabilité :

- la variabilité de la mesure au niveau de la micro-zone : elle peut atteindre 20 % et peut être réduite en échantillonnant sur une bande assez large ;

Summary

Fertilisation and Potassium gradients in slope soils in Morocco

A. Aït Houssa, P. Villemin

In slope soils, exchangeable K levels vary depending on the distance between the measurement location and the bottom of the slope. To avoid the need of measuring K content throughout the slope, an experimental relation is proposed to estimate K content anywhere on the slope when bottom values are known. Another relation is proposed to estimate clay content, which also varies along the slope gradient. In conclusion, determination of potential K dressings for slope soils is discussed.

Cahiers Agricultures 1998 ; 7 : 233-5

Tableau 1

Coefficients de corrélation entre K échangeable et les différentes fractions granulométriques de sols au Maroc

Parcelles	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
K éch.-Arg	0,69	0,91	0,82	0,37	0,20	-0,70	0,67	-0,047	0,91	0,55	0,35
K éch.-Lim	0,34	0,84	-0,69	0,02	0,04	0,34	-0,43	0,33	0,38	-	0,64
K éch.-MO	0,37	0,71	0,14	0,14	0,44	-0,25	0,67	0,14	-0,30	-0,16	0,55
K éch.- CaCO_3	-0,61	-0,94	-0,63	-0,85	0,03	-	0,58	0,18	-0,91	0,10	-

Correlation coefficients between exchangeable K and various granulometric soil fractions in Morocco

Encadré

Modélisation du K échangeable

Un modèle de type exponentiel, avec K éch. asymptotique quand la distance à partir du bas de la pente augmente, permet d'ajuster le nuage de points selon l'équation :

$$K \text{ éch. } (d) = K \text{ éch. } (\text{bas}) \times \text{EXP}(-0,0037 \times d) \quad r = -0,76 \quad (1)$$

où

K éch. (d) : teneur mesurée à la distance d du bas de pente

K éch. (bas) : teneur en bas de pente

d : distance depuis le bas de pente, exprimée en m.

Le modèle explique près de 60 % de la variabilité du K éch. ; il devrait être testé en d'autres situations afin de vérifier son potentiel de généralisation. L'application du modèle à la correction de la teneur en potassium du sol sur base d'une analyse de terre est faite à partir d'un système de normes établies expérimentalement qui fournit une valeur appelée K éch. souhaitable, en fonction du sol (teneur en argiles ou CEC, type de sol), des cultures et de conditions régionales spécifiques [6, 7, 9]. Au delà de cette valeur, les cultures ne présentent généralement pas de baisse de rendement en cas d'impasse de fertilisation sur une année ; en deçà, une fertilisation de correction, éventuellement modulable selon l'exigence des principales cultures portées par le sol, est nécessaire. Deux possibilités se déduisent alors de l'équation (1) selon la valeur du K éch. (bas) mesuré en bas de pente :

K éch. (bas) < K éch. souhait. : la correction doit intervenir sur l'ensemble de la parcelle, y compris en bas ;

K éch. (bas) > K éch. souhait. : la correction n'est faite que sur la pente, à partir d'une distance d , solution de l'équation (1).

Dans le cas où K éch. souhaitable est estimé égal à K éch. bas ($d = 0$), toute la parcelle, hormis le bas de pente, doit recevoir une fertilisation de correction.

Modeling exchangeable K

- la représentativité de la zone échantillonnée par rapport à l'ensemble de la parcelle : les teneurs en K de la zone sommitale ne sont généralement pas en continuum du gradient général de la parcelle, contrairement à la teneur du bas de pente qui représente souvent une meilleure référence pour la modélisation. Ayant déterminé le K éch. souhaitable et connaissant le K éch. mesuré sur un échantillon moyen prélevé en bas de pente, on définit la distance d du bas de la pente à partir de laquelle la fertilisation de correction calculée doit être épanchée en complément de la fertilisation d'entretien apportée sur l'ensemble de la parcelle. Le raisonnement pourrait être affiné en déterminant les doses de correction par bandes, de largeur compatible avec la pratique agricole. En effet, à chaque distance du bas de pente, l'équation (1) donne une valeur différente de K éch. estimé qui détermine elle-même une dose de correction différente.

Les valeurs de K éch. diminuant avec l'éloignement du bas de pente, l'écart et donc les doses de correction augmentent en s'approchant du sommet qui est géné-

ralement moins riche en éléments fins ; or, la teneur en K éch. est liée à la teneur en argiles [8].

Sur les parcelles P1 et P2, la relation entre la teneur en argile estimée à une distance d et la valeur mesurée par analyse en bas de pente est la suivante :

$$\text{Arg} = \text{Arg} (\text{bas}) \times \text{EXP}(-0,0032 \times d) \quad r = 0,89 \quad (2)$$

À partir de la teneur en argile estimée par l'équation (2) et d'un abaque régionalisé en fonction des références locales [7, 8], on définit la valeur de K éch. souhaitable à la distance d . En confrontant cette valeur à la valeur de K éch. estimée en (1), on améliore le diagnostic.

Discussion et conclusions

Les déficits en éléments majeurs ou secondaires, particulièrement les plus lixiviables (K, N, Ca, Mg ou S) ou ceux naturellement rares comme P, contribuent à la

pauvreté des sols. Mais c'est surtout le manque d'eau, en raison des différences de capacité de rétention dues aux différences de profondeur de sol et de teneur en éléments fins, qui reste le principal facteur de croissance. Aussi doit-on s'assurer, avant de mettre en œuvre une politique de correction potassique des sols en pente, que les capacités d'alimentation hydrique du sol ne sont pas limitantes. En cas d'érosion massive de terre, comme sur les bassins versants du Nord-Ouest marocain, le remède à la perte de fertilité des sols passe évidemment par des mesures anti-érosives.

Les conclusions de notre étude peuvent présenter des difficultés d'application sur le terrain. L'épandage de fertilisants contrôlé par ordinateur est relaté dans la presse agricole américaine et concerne des sols hétérogènes sans pente. Cela ne peut s'appliquer au Maroc en raison du manque de matériel spécifique et surtout à cause des sols en pente. Des solutions plus simples, comme le changement de réglage des épandeurs, bande par bande, ou l'augmentation de nombre de passages selon la cote du terrain, peuvent être retenues. L'importance d'une fertilisation potassique équilibrée pour améliorer la rentabilité des cultures est renforcée par l'effet bénéfique du potassium sur la résistance à la sécheresse des cultures, ce qui améliore l'utilisation optimale des réserves en eau pour les différentes zones des sols en pente ■

Références

1. Aït Houssa A. *Étude du potassium dans divers types de sol et systèmes de culture au Maroc*. Thèse de doctorat d'État ès Sciences Agronomiques. Rabat : IAV Hassan II, 1989 ; 145 p.
2. Merzouk A. Erodibility of nine Moroccan soils as related to their physical, chemical and mineralogical properties. Ph-D thesis. University of Minnesota, 1985.
3. Stone JR, Gilliam JW, Cassel DK, Daniels RB, Kleiss HJ. Effect of erosion and landscape position on the productivity of piedmont soils. *Soil Sci Am J* 1985 ; 49 : 987-91.
4. Gilley JE, Finkner SC, Varvel GE. Slope length and surface residue influences on runoff and erosion. *Trans ASAE-USA* 1987 ; 30-1 : 148-52.
5. Schroeder SA. Slope gradient effect on erosion of reshaped soil. *Soil Sci Soc Am J* 1987 ; 51 : 405-9.
6. Quemener J. Le conseil de fumure potassique tiré de l'analyse de sol à la SCPA. *Au service de L'Agriculture - Dossier K₂O* 1976 ; 6 ; 26 p.
7. Aït Houssa A, Quemener J, Villemin P. Mise au point de normes d'interprétation à partir de l'enquête au champ et de l'analyse de terre. *Dossiers Agronomiques d'Aspach-le-Bas* 1991 ; 4 : 1-14.
8. Von Braunschweig L. Disponibilité du K en fonction de la teneur en argile. Résultats d'essais de plein champ. *Revue de la potasse* 1986 ; 2, section 16, 1-9, 82° suite.
9. Remy JC, Marin Lafliche A. L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. *Ann Agron* 1976 ; 25 : 606-32.