

**ATELIER SUR LA GESTION DE LA FERTILISATION POTASSIQUE,
ACQUIS ET PERSPECTIVES DE LA RECHERCHE**

TUNIS 10 DECEMBRE 2002

LE POTASSIUM DANS LES SOLS DE TUNISIE

Ali MHIRI

Institut National Agronomique de Tunisie

Introduction

En dépit de son statut d'élément chimique majeur indispensable à la nutrition des cultures, le potassium (K_2O) est souvent négligé dans la formulation des conseils de fumure des cultures pluviales en Tunisie. En effet, les statistiques agricoles nationales relatives à la consommation des engrais révèlent une déficience flagrante en cet élément par rapport à l'azote et au phosphore. Jadis, les restitutions organiques aux sols permettaient, tant bien que mal, de satisfaire les besoins des cultures en cet élément et assuraient l'entretien de la fertilité des sols. Depuis l'avènement des engrais chimiques au début du 20^{ème} siècle, et la publication des résultats des rares expérimentations agronomiques peu concluantes (Capitaine, 1968 et 1976 ; Hutter, 1970 ; Kopp, 1976) quant à l'efficacité des engrais potassiques, principalement en oléiculture et céréaliculture en zones arides et semi-arides, le recours aux fertilisants potassiques est resté, sinon absent, du moins exceptionnel dans les systèmes de culture extensifs.

Cependant, de nos jours, l'intensification des cultures maraîchères et fruitières dans les périmètres irrigués s'accompagne d'une utilisation accrue de cet élément, allant parfois jusqu'à l'excès, particulièrement en serriculture.

Actuellement, un regain d'intérêt pour cet élément semble se dessiner au niveau de la recherche agronomique, et la connaissance du statut potassique des sols constitue la base de toute investigation sur le raisonnement d'une fertilisation potassique. Dans ce qui suit, nous ferons le point sur cette question.

Généralités sur le statut du potassium des sols

L'origine du potassium du sol

De nombreux constituants minéraux du sol contiennent du potassium à l'état natif. La teneur moyenne de l'écorce terrestre en K_2O est évaluée à 3,2 %. Les minéraux silicatés (feldspaths potassiques, micas, argiles,...) en sont les principales sources. Dans les sols, ce sont surtout les minéraux argileux qui constituent à la fois le principal réservoir et le piège à potassium. Les minéraux d'altération des sols se distinguent les uns des autres par leurs teneurs en bases dont le potassium. Le tableau 1 illustre cet appauvrissement associé au degré d'altération :

Tableau 1. Teneur en K_2O et degré d'altération des argiles.

Type d'argile	Muscovite (micoblanc)	Hydro-muscovite	Biotite	Illite	Vermiculite	Smectite
K_2O (%)	9	8	6-10	6-8	0-2	0,5

Il est rare de trouver un seul type d'argile dans un sol. Souvent, la fraction argileuse se compose de plusieurs types d'argile en fonction de l'histoire pédologique de chaque sol.

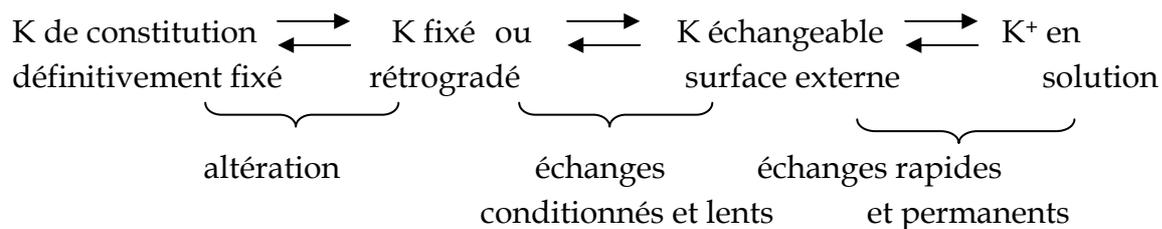
Par ailleurs, l'humus du sol peut constituer une source non négligeable de potassium. La teneur et le type d'humus déterminent le potentiel de ce gisement potassique. Pour l'agriculture biologique, il est la source principale d'entretien de la fertilité du sol.

La teneur des sols en potassium total

A l'exception de certains sols franchement sableux, riches en feldspaths potassiques (sable arkosique), les sols à texture fine (textures argileuse, argilo-limoneuse,...) sont potentiellement plus riches en K total que les sols à texture grossière. Mais la teneur en K total d'un sol ne préjuge pas du niveau de disponibilité de cet élément pour la plante cultivée (biodisponibilité).

Les compartiments du potassium dans les sols

Il s'agit évidemment d'une compartimentation conceptuelle. La distinction entre les différentes formes de potassium dans le sol repose, pour l'agronome, sur le degré de leur disponibilité à l'égard des plantes. Schématiquement, on peut le représenter comme suit :



Le compartiment potassique effectivement disponible pour les plantes est le **potassium échangeable**. Il comprend le potassium de la solution du sol et le potassium adsorbé sur les surfaces externes des minéraux argileux en particulier. Des échanges ioniques incessants et rapides s'établissent entre ces deux formes.

Tout à fait à l'opposé, nous trouvons le **potassium de constitution** à l'intérieur de l'édifice cristallin des argiles. Il représente plus de 95 % du potassium total des sols argileux.

Il existe une troisième forme, intermédiaire, dite **potassium fixé** (ou rétrogradé) qui constitue un volant de réserve. Entre les différentes formes, des

échanges lents peuvent se réaliser dans certaines conditions avec le potassium échangeable.

Le potassium échangeable (assimilable)

D'après le schéma précédent, c'est la somme du potassium libre de la solution du sol et de celui retenu sur les charges négatives des surfaces externes des minéraux argileux. La concentration de la solution du sol, mesurée dans l'extrait de la pâte saturée au laboratoire, varie dans une large mesure. L'échelle d'appréciation du tableau 2 en donne une estimation.

Tableau 2. Échelle d'appréciation du degré de richesse en K soluble (mg K⁺/l).

Degrés de richesse	K soluble en mg K ⁺ /l
Très faible	< 2
Faible	2-4
Moyen	4-20
Elevé	20-40
Très élevé	> 40

La distribution de K⁺ et d'un autre cation, par exemple le Ca⁺⁺, dans la solution du sol et sur les sites d'adsorption à la surface des argiles est régie par l'équilibre de Donnan et peut être décrite par la relation suivante :

$$\frac{\delta K_{+abs}}{\delta Ca_{++ads}} = k \frac{(k_{+})_{solution}}{\sqrt{(Ca_{++})_{solution}}}, \text{ avec } \delta = \text{meq des cations adsorbés}$$

(K⁺) = activité de K⁺ dans la solution

(Ca⁺⁺) = activité de Ca⁺⁺ dans la solution

La dilution du système sol-solution déplace l'équilibre dans le sens de l'augmentation de l'adsorption de Ca⁺⁺. Cela veut dire que la concentration relative de K⁺ dans la solution augmente. Cependant, il existe plusieurs types de positions d'échange, chacun possédant une constante k caractéristique. Trois types de sites possibles d'adsorption ont été constatés :

- sites sur les surfaces extérieures des feuillets d'argile avec $k = 2$;
- sites sur les bords rompus des cristaux avec $k \neq 100$;
- sites interfoliaires avec $k > 2000$.

Les premiers sites représentent environ 95 % de la capacité totale d'échange des colloïdes argileux.

La valeur du potassium échangeable (K soluble + K adsorbé), déterminée au laboratoire après extraction à l'acétate d'ammonium, constitue une information importante puisqu'elle donne une estimation de la teneur du sol en potassium assimilable.

Le potassium fixé

Les phénomènes de fixation du potassium échangeable et de libération du potassium non échangeable (interfoliaire) jouent un rôle important dans la dynamique de cet élément. Le pouvoir de fixation du potassium (rétrogradation) par les sols dépend de leur teneur et de la nature de leurs argiles. Il est :

- nul pour la kaolinite, la chlorite... et les micas,
- faible pour la montmorillonite,
- variable pour les illites,
- fort pour la vermiculite.

Ce pouvoir de fixation est modulé également par l'état hydrique du sol qui provoque l'ouverture ou la fermeture des espaces interfoliaires dans lesquels se logent certains cations comme le potassium, caractérisé par un diamètre ionique hydraté faible, compatible avec la largeur des cavités.

Il peut être estimé par :

- une courbe d'isotherme d'échange ;
- des formules empiriques tenant compte de la teneur du sol en argile ou de sa capacité d'échange cationique (C.E.C.).

Les concepts d'intensité, de capacité et de pouvoir tampon potassiques des sols

Pour une connaissance de la biodisponibilité du potassium dans les sols, il est nécessaire de définir et de caractériser 3 concepts :

- le concept d'intensité potassique du sol qui correspond à la concentration des ions K^+ dans la solution du sol ;

- le concept de capacité qui correspond à la rapidité avec laquelle les réserves du sol fixées en potassium inassimilable passent dans le compartiment du potassium échangeable lors d'un apport ou d'un prélèvement de potassium. Il est en relation avec les caractères quantitatifs primordiaux qui déterminent le potentiel nutritionnel du sol en potassium soit :

- le volume de sol prospecté par les racines d'une culture ;

- la texture du sol ;

- la nature des argiles ;

- la C.E.C.,

- Le pourcentage de saturation du complexe par le potassium ;

- le pouvoir tampon potassique du sol qui est son aptitude à maintenir constante, plus ou moins rapidement, la richesse en cet élément dans la solution du sol. Il est beaucoup plus élevé dans les sols argileux que dans les sols sableux.

La dynamique du potassium

Elle est régie par l'ensemble des processus qui commandent le passage du potassium d'un compartiment à un autre (dissolution, échange, fixation, libération), par son transfert d'un horizon à un autre et par l'absorption racinaire.

C'est le bilan de l'ensemble de ces processus qui détermine, à un instant donné, le statut du potassium dans un sol.

Le seuil ou la marge critique du potassium

Pour une culture donnée, il existe deux seuils critiques en K^+ échangeable. Le premier seuil (SC1) correspond à la teneur en K^+ échangeable en-dessous de laquelle

une fumure d'entretien et de redressement doit être envisagée. Le deuxième seuil (SC2) correspond à une teneur optimale du sol et permet d'assurer un rendement économique optimal dans des conditions déterminées de culture. La détermination préalable de ces deux seuils permet de classer les sols d'une région en trois catégories au moins :

- teneur du sol en K éch. < SC1 ;
sol nécessitant une fumure potassique d'entretien et de redressement ;
- teneur du sol en K éch. comprise entre SC1 et SC2 ;
sol nécessitant une fumure d'entretien ;
- teneur du sol en K éch. > SC2 : sol ne nécessitant pas de fumure potassique.

Le potassium dans les sols de Tunisie

Les premières investigations relatives au statut du potassium dans les sols de Tunisie datent du début du siècle dernier. Elles avaient été développées par les pédologues russes au Service Botanique et Agronomique de Tunisie entre les deux guerres mondiales. Agavonoff (1936), Yankovitch (1934 et 1936) et Novikoff (1936) avaient tenté d'apporter un éclairage sur le potassium des différents types pédologiques des sols du pays. Plus tard, Yankovitch et Essafi (1959), Capitaine (1968 et 1976) et d'autres chercheurs ont apporté les premiers résultats attestant la faible, voire l'absence d'efficacité des apports potassiques aux cultures céréalières dans le Nord du pays, et en oléiculture dans le Centre et le Sud. Plus récemment, Tnani (1982), Riahi (1985), Mhiri (1995 et 1997), Aïssa et Mhiri (2000 et 2002) ont abordé différents aspects de la fertilisation potassique. Actuellement, la question de l'effet des engrais potassiques sur le rendement et la qualité des productions en agriculture intensive suscite un intérêt croissant de la profession et de quelques chercheurs.

Aperçu sur l'état du potassium des sols de Tunisie

Il est possible de regrouper les types de sols du pays en trois ensembles selon leurs teneurs en potassium échangeable et leurs pouvoirs tampons.

- Les sols acides localisés dans le Nord-Ouest du pays, développés sur des roches-mères non calcaires ; il s'agit de types de sol apparentés aux sols bruns forestiers plus ou moins lessivés, des sols podzoliques plus ou moins dégradés. Ils sont partiellement désaturés et globalement pauvres en bases et particulièrement en potassium.

- Les sols basiques, calcaires, de texture fine, localisés au nord de la dorsale ; ils sont apparentés à différentes classes pédologiques (vertisols, calcimorphes, peu évolués d'apport alluvial, rouges fersiallitiques), riches en potassium total et en potassium échangeable mais certains sont aussi caractérisés par un pouvoir de fixation élevé de ce cation. Ils sont considérés parmi les plus fertiles du pays.

- Les sols basiques, calcaires, de texture grossière, localisés au Centre, au Sahel et dans le Sud. Ils ont une faible C.E.C., sont saturés à plus de 95 % par le calcium, et sont relativement pauvres à très pauvres en potassium échangeable.

Critères d'évaluation de la richesse des sols en potassium

L'évaluation du potentiel nutritionnel potassique de ces sols peut être faite sur la base des caractéristiques suivantes :

La capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique (C.E.C.) est corrélée avec la texture et la minéralogie des argiles. Le tableau 3 récapitule les principales situations.

Tableau 3. Relation entre la capacité d'échange cationique (C.E.C.) et le type de sol.

Classe	C.E.C. (meq/100g de sol)	Type de sol
Potentiel faible	< 15	Forestiers acides Sols sableux
Potentiel moyen	15-30	Sols des piémonts
Potentiel élevé	30-45	Sols de texture fine plaines et vallées
Potentiel très élevé	> 45	Sols de texture fine plaines et vallées

Le pourcentage de saturation en bases (S/T %)

Le pourcentage de saturation en bases (S/T %) exprime la saturation du complexe adsorbant du sol. Il correspond au rapport entre la somme des bases et la C.E.C. Le tableau 4 récapitule les principales situations.

Tableau 4. Relation entre le pourcentage de saturation en bases S/T (%) et le type de sol.

Classe	S/T (%)	Type de sol
Très pauvre	< 70	Sols très acides
Pauvre	70-95	Sols faiblement acides
Potentiellement riche	> 95	Sols basiques

Le pH : deux principales classes

Selon leur pH, les sols présentent une richesse en potassium différente. Les sols acides sont pauvres en potassium alors que les sols basiques sont potentiellement riches.

Le potassium échangeable (extrait à l'acétate d'ammonium)

Il est le critère le plus pertinent. En première approximation, pour les cultures pluviales dominantes, à savoir l'oléiculture au Centre et dans le Sud, et la céréaliculture dans le Nord, nous retenons deux seuils :

- pour les sols à texture grossière, K éch. = 80-100 ppm ;
- pour les sols à texture fine, K éch. = 200-250 ppm.

Ces deux seuils peuvent être considérés comme une approximation pour des teneurs assurant les rendements moyens des cultures dans les zones considérées. Ils s'avèrent insuffisants en cultures intensives.

Des enquêtes récentes sur des sols oléicoles du Nord, du Centre et du Sud (Gargouri, 1999) ont montré une marge de teneur en K échangeable dans les trois couches 0-30, 30-60 et 60-90 cm, variant de 55 ppm K dans les cas les plus pauvres à 715 ppm dans les terres rouges du Nord. La recherche de corrélation entre le niveau

de nutrition potassique des oliviers par le diagnostic foliaire et la teneur du sol en potassium échangeable n'a pas abouti à des corrélations directes. Les besoins en potassium de l'olivier dans la diversité des situations des plantations semblent être satisfaits avec des teneurs foliaires en K = 0,5-0,7 % de la matière sèche (M.S.).

Par ailleurs, une enquête similaire réalisée par Mhiri et al. (2001) sur les sols cultivés par deux variétés de vigne, le Muscat conduit en irrigué et le Carignan conduit en pluvial, a débouché sur les résultats présentés au tableau 5.

Tableau 5. Teneurs minimales et maximales en potassium échangeable pour des sols de vignobles Muscat et Carignan.

Vignobles	Teneurs minimales (ppm)			Teneurs maximales (ppm)		
	Couches (cm)			Couches		
	0-30	30-60	60-90	0-30 cm	30-60	30-90
Muscat (59)	130	80	65	1160	1000	720
Carignan (28)	80	90	60	1140	915	665

D'après les normes méditerranéennes, l'interprétation du diagnostic foliaire réalisé sur ces mêmes plantations montre que :

- quatre vignobles de Muscat sont déficitaires en K ;
- huit vignobles de Carignan sur les 28 analysés sont déficitaires en K.

Ces résultats montrent qu'un pourcentage plus élevé de vignobles de type Muscat ne sont pas déficitaires en K. Cette différence serait liée à la fertilisation. En effet, le Muscat conduit en irrigué reçoit plus d'engrais, y compris des engrais potassiques.

Par ailleurs, ces déficiences en potassium peuvent aussi être causées par un déséquilibre du rapport K/Mg du sol, souvent proche ou inférieur à 2 (Mhiri et al., 2001).

Pour les terres céréalières, les travaux récents de Aïssa et Mhiri (2002) sur la fertilisation potassique du blé dur s'orientent vers la détermination de deux seuils

critiques de K échangeable en fonction des conditions d'intensification (voir communication de Aïssa et Mhiri dans cette publication).

Conclusion

Les travaux récents sur le statut potassique des sols de Tunisie confirment le potentiel nutritionnel en potassium relativement élevé de ces sols par rapport aux besoins des principales cultures pluviales pratiquées. Cependant, la non-restitution aux sols des prélèvements de K réalisés durant de nombreuses années, particulièrement en céréaliculture (1,5 millions ha) et en oléiculture (1,5 millions ha) a contribué à la diminution des réserves des sols en cet élément. En même temps, l'extension de l'irrigation sur plus de 7 % des terres cultivées, avec une utilisation non raisonnée des intrants de toutes natures, a permis, certes, d'augmenter les rendements moyens de diverses cultures légumières et fruitières, mais au prix d'une surconsommation de ces intrants.

La situation actuelle se caractérise en matière de fertilisation potassique par la non-utilisation des engrais potassiques en cultures pluviales avec des manques à gagner, un appauvrissement des sols et un déséquilibre nutritionnel des cultures, une surconsommation des engrais potassiques (au sol, en fertigation et foliaire) en cultures intensives.

Devant ce constat, il est urgent de :

- développer un programme national de recherche sur ce thème en considérant la diversité des conditions agro-pédo-climatiques ;
- constituer une équipe pluridisciplinaire qui définira les axes prioritaires de recherche, leurs objectifs et les moyens nécessaires à mettre en œuvre ;
- concevoir un réseau d'expérimentations régionales à long terme sur la réponse des principales cultures aux engrais potassiques.

Le but final de ce redéploiement de la recherche autour de ce thème est de raisonner à terme l'utilisation des engrais potassiques en tenant compte de la fertilité des sols.

Références bibliographiques

- AGAVONOFF, V.**, 1936. « Sols types de Tunisie », Extrait des *Annales du SBAT*, T. XII-XIII, (1935-1936), 410 p.
- AÏSSA, A.D., et MHIRI, A.**, 2000. « La fertilisation phospho-potassique des céréales en Tunisie », *Revue de l'INAT*, Vol. 15, n° 2, p. 7-14.
- AÏSSA, A.D., et MHIRI, A.**, 2002. « La fertilisation phospho-potassique des céréales conduites en intensif en Tunisie », *Cahiers Agriculture*, Vol. 11, n° 6.
- CAPITAINE, R.C.**, 1968. « Fertilisation dans le cas d'un type d'assolement céréalier en Tunisie », *Annales de l'INRAT*, Vol. 41, fasc. 3, p. 36.
- CAPITAINE, R.C.**, 1976. « Recommandations sur l'emploi des engrais en Tunisie », *Documents Techniques de l'INRAT*, n° 35.
- GARGOURI, K.**, 1999. *Référentiel de fertilité des sols à olivier*, Mémoire de fin d'études de l'INAT, p. 120.
- HUTTER, W.**, 1970. *Fertilisation de l'olivier. Etat des recherches*, INRAT (Document ronéoté).
- KOPP, E.**, 1976. « Le potentiel de production dans les régions semi-arides de la Haute Vallée de la Mejerda tunisienne sous irrigation par aspersion », *Annales de l'INRAT*, Vol. 49.
- MHIRI, A., et OUESLATI, T.**, 1998. *La fertilisation potassique de la pomme de terre en Tunisie*, Rapport d'expérimentation sur la pomme de terre. Centre technique de la pomme de terre et INAT, p. 9 (Document ronéoté).
- MHIRI, A.**, 1995. « Production and Use of chemical fertilizers in Tunisia », *Proceedings of the seminar "Products and use of chemical fertilizers and environment"*, 17-21 dec. 1994, Cairo, Egypt, N.R.C. 1995, p. 65-84.
- MHIRI, A.**, 1997. « Potassium status in soil and crops, recommendations and present use in Tunisia », *Proceedings of the regional workshop of International Potash Institute "Food security in the WANA region, the essential need for balanced fertilization"*, 26-30 may 1997, Bornova, Izmir, Turkey, p. 146-153.
- MHIRI, A., NAHDI H., et KSOURI, R.**, 2001. « Fertilité des sols viticoles et état nutritionnel du vignoble en Tunisie », *Annales de INRAT*, Vol. 74, p. 251-272.
- RIAHI, S.**, 1985. *La dynamique du potassium dans le sol et ses conséquences agronomiques*, Mémoire de fin d'études du cycle de spécialisation en Pédologie Fertilisation, INAT.

TNANI, T., 1982. « Effet de la fertilisation minérale et organique sur la production de la betterave sucrière en Tunisie », Communication aux Journées d'étude en Tunisie de l'Institut international de la betterave, 2-4 nov. 1982, p. 7, (Document ronéoté).

YANKOVITCH, L., et NOVIKOFF, V., 1934. « Étude pédo-agrologique de la Tunisie. SBAT », Extrait des *Annales du SBAT*, T. XII-XIII, (1935-1936), 559 p.

YANKOVITCH, L., 1936. « Expériences de cultures en bacs au SBAT », Extrait des *Annales du SBAT*, T. XII-XIII, (1935-1936).

YANKOVITCH, L., et ESSAFI, A. 1959. « Détermination de la fertilité de quelques terres de Tunisie par l'analyse physiologique », *Annales de l'INRAT*, Vol. 32 p. 15-52.