

FERTILITE ET FERTILISATION POTASSIQUE AU MAROC: ACQUIS ET PERSPECTIVES D'AVENIR*

Azzaoui, A., El Mourid. M, Loudyi. B et Ryan. J.**

ملخص

في المغرب وبصفة عامة، لم تكن معاينة الغلات لسماذ البوتاسيوم مع تحديد العلاقة بين تحليل التربة والإنتاجية إلا نادراً.

وكان الغرض من البحث القائم، هو مراجعة الأبحاث السابقة في هذا الميدان سواء بالمغرب أو بدول أخرى لمقارنة بعض أساليب تحليل البوتاس في التربة.

ومن خلال نتائج هذا البحث أمكن التعرف على أن معظم الأراضي الفلاحية بالمغرب تحتوي على كميات طبيعية مهمة من البوتاس باستثناء الأراضي الرملية مع التأكيد على أن البوتاسيوم المتبادل يعد مؤشراً جيداً لمعاينة خصوبة التربة، كما تبين أيضاً على أن معظم الغلات لا تستجيب لسماذ البوتاسي.

لهذا، لا ينصح باستعمال سماذ البوتاسيوم إذا تجاوز البوتاسيوم المتبادل 150 جزء من المليون الذي يعد الحد المخرج للبوتاسيوم في التربة.

كلمات جوهرية : بوتاسيوم - شبه جاف - مسقية.

* Contribution des Programmes Aridoculture, INRA / MIAC, Sett et Bour Favorable, INRA Meknes - Maroc.

** Respectivement, Chercheurs, Département du Milieu Physique, Département d'Agronomie, INRA, Maroc; Professeurs, Sciences du Sol, ENA, Meknès, Maroc et Soil and plant Sciences Department, Arizona State University, USA.

RESUME

Au Maroc, les rendements des cultures n'ont été que rarement reliés aux analyses du potassium dans les sols et plantes. Ce qui s'est traduit par l'absence de recommandations pertinentes en matière de fertilisation potassique. Aussi, l'objectif de ce travail est la revue des travaux de recherche réalisés au Maroc et autres pays sur la fertilité du sol et la fertilisation potassique des cultures en vue de déterminer un seuil de fertilité potassique. Les résultats de recherche accumulés au Maroc depuis trente ans montrent qu'à l'exception des sols sableux du littoral atlantique, des sols Fertiallitiques lessivés et les sols à pédogenèse ancienne, la majorité des sols du Maroc sont riches en K disponible et potentiellement disponible. Le K échangeable a été confirmé comme étant un bon indice de fertilité potassique des sols. Les plantes sucrières ne répondent à l'apport de K que sur les sols sableux du Loukkos. Les céréales ne répondent pas à l'apport d'engrais potassique. A défaut d'essais de calibration au champs sur les sols pauvres en K, un seuil critique de 150 ppm de K échangeable est proposé. La fertilisation potassique n'est pas conseillée au delà de ce seuil.

Mots clés : Potassium, semi arides, irriguées.

SUMMARY

The response of crops to K fertilizers based on soil test has not been well documented in Morocco. The objective of this study was to review previous research conducted on crop response to K fertilisation. Results showed that moroccan soils have high level of available and potentially available K. The exception to this are the sandy soils of the atlantic coast, the Alfisols and the old eroded upland soils. Results also confirmed exchangeable K as a good soil fertility test for moroccan soils. Sugar beet (*Bêta vulgaris*) and sugar cane (*Saccharum officinarum*) did not respond to added K except on sandy soils. Bread wheat (*Triticum aestivum*) as well as barley and vetch (*Vicia avena* and *Hordeum vulgare*) forage mixture did not respond when at least 150 ppm of K were already available in the soil. This level of exchangeable K is proposed as the critical value above which K fertilizers application would not be recommended.

Key-words : Potassium, soil test, rainfed, irrigation.

INTRODUCTION

Le potassium est un élément majeur indispensable pour la croissance des végétaux. Il est l'élément nutritif le plus abondant dans les plantes. La carence en K se manifeste d'abord dans les vieilles feuilles, par des brûlures du bout et des marges des limbes et des feuilles. Les fonctions physiologiques du K dans la plante sont connues depuis longtemps. Mengel et Kirby (1982) ont rapporté que le K assure l'activation des enzymes; participe à la régulation stomatique et à la synthèse et translocation des protéines; contribue au rétablissement des équilibres acido-basiques dans la plante; augmente la résistance aux maladies, aux infections fongiques lors du stockage, à la verse et augmente la tolérance à la sécheresse. Alexander et Misra (1972) ont montré qu'une imbibition des semences avec une solution de 2,5% de KCl, avant le semis, peut augmenter la tolérance à la sécheresse.

Bien que la question de la fertilisation potassique soit résolue ailleurs, elle reste un problème controversé au Maroc. On se demande toujours s'il faut ajouter des engrais potassiques aux cultures ou non; et quelle est la quantité optimale à apporter de façon à ne pas gaspiller les engrais potassiques dont le coût ne cesse d'augmenter.

En effet, à l'exception de certains sols sableux des zones côtières (Schmidt et Hesse, 1975; Ait Houssa, 1979; Schmidt et al., 1981; Chkounda et Mghari, 1983; Mrabet & Rkiek, 1984; Parfonry et Hesse, 1984; Ait Houssa 1988; Ait Houssa et al., 1991), les références consultées s'accordent sur le fait que dans la majorité des sols du Maroc les cultures ne répondent pas à l'apport de K et que les sols contiennent des réserves considérables en K disponible aux cultures.

Bien que la majorité des recherches montrent la richesse des sols en K, Zeidguy (1984) a rapporté que l'agriculture marocaine utilise peu d'engrais et que le manque à couvrir en K est de 190.000 t/an pour atteindre l'autosuffisance alimentaire. Ce tonnage, importé se chiffrerait à un milliard de dirhams par an payé en devises. La société de commercialisation des engrais FERTIMA (1990) recommande 116 kg K₂O/ha pour le blé tendre, 102 pour le blé dur, 53 pour l'orge, 150 pour le tournesol et maïs, 68 pour le pois chiche et lentille, 175 pour la pomme de terre et 150 kg K₂O/ha pour l'olivier sans tenir compte de la région, du type du sol et de la conduite des cultures. Ceci illustre bien le manque de communication entre les chercheurs et les utilisateurs concernant les recommandations en matière de fertilisation potassique des cultures.

Cependant, la plupart des essais sur K sont limités dans le temps, à l'exception des essais de longues durées installés par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) il y a 20 ans dans des sites de différentes régions du Maroc. Les résultats de ces essais de longue durée ont constitué depuis la base de données pour plusieurs auteurs (Bouzoubaa, 1973; Agbani, 1978; Ait Houssa, 1979; Squalli, 1982; Agbani et al., 1983; Ouabou, 1987; Agbani et al., 1988; Azzaoui et Alilou, 1990).

Par ailleurs, Sheldrick (1985) a rapporté que des gisements de 240 millions de tonnes de minerais de potassium (carnalite et sylvinite) ont été répertoriés en

1935 dans le massif hercynien de Tiflet, Khémisset et Meknès. De ces gisements, 60 millions de tonnes de K_2O peuvent être extraites. Plusieurs schémas d'exploitation ont été considérés, mais n'ont pas été appliqués.

Dans cette étude, une synthèse des résultats de recherches réalisées sur les méthodes d'analyses du K du sol, la fertilité K du sol et sur la fertilisation potassique des cultures dans différentes régions du Maroc est reportée. L'expérience d'autres pays en matière de fertilité et nutrition potassique des cultures est aussi présentée.

LES METHODES D'ANALYSE DE K UTILISEES

Les différents états du K du sol sont le K de la solution du sol, le K échangeable (disponible pour ou assimilable par la plante), le K non échangeable (potentiellement disponible ou assimilable) et le K des minéraux du sol. Ces états du K sont en équilibre dans le sol et le passage d'un état à l'autre est régi par le pouvoir tampon du sol (Sparks and Lieberhardt, 1981). La caractérisation de chaque état du K nécessite une méthode d'analyse particulière.

Le potassium de la solution du sol

Bien que les plantes puisent leurs besoins en K de la solution du sol, cette fraction du K est la plus faible dans le sol. Le K de la solution du sol est souvent déterminé par une extraction avec une solution de $CaCl_2$. Le calcium est utilisé pour stabiliser la force ionique de la solution du sol. La détermination du K de la solution du sol ne présente pas un intérêt pratique pour la nutrition des plantes. Cependant, cet état du K est en équilibre avec les autres. La vitesse de réapprovisionnement de la solution du sol en K est une caractéristique intrinsèque du sol. Cette capacité est appelée le pouvoir tampon qui est déterminé par la relation quantité/intensité (Q/I) de Beckett (1964). Quand les plantes puisent leurs besoins en K du sol, par absorption racinaire, les sols argileux réapprovisionnent plus rapidement la solution du sol en K que les sols sableux (Mengel et Kirkby, 1982). Ainsi, plus le sol a une texture argileuse (quantité et qualité), et plus la capacité du sol à maintenir la concentration de K dans la solution du sol est élevée. Les sols Isohumiques, Vertisols et Calcimagnésiques du Maroc ont un pouvoir tampon élevé alors que les sols Fertillitiques et les sols sableux ont un pouvoir tampon bas (Azzaoui, 1980; Azzaoui et Loudyi, 1988; Ben Amara, 1988; Tazi, 1988).

Le potassium échangeable et non échangeable

Ces deux états du K sont les plus utilisés, au Maroc et ailleurs, comme indice de fertilité potassique pour estimer respectivement le K disponible et potentiellement disponible aux cultures. L'acétate d'ammonium neutre et normal est utilisé pour extraire le K échangeable. Knudsen et al. (1982) ont rapporté qu'en utilisant l'acétate d'ammonium, 95% du K absorbé au complexe argileux-humique du sol peuvent être extraits. Plusieurs méthodes ont été utilisées au Maroc pour estimer le K non échangeable. L'acide nitrique normal à ébullition, le tetraphenyl borate de sodium ($NaTPB$) et les méthodes de cultures intensives en pot pour estimer le K biologiquement disponible telles que les

méthodes Neubauer, Stanford de Ment et Chaminade ont été utilisées par différents auteurs.

En utilisant le K échangeable et le K non échangeable, Ait Houssa (1979) a montré que les sols sableux des régions de Doukkala, Boulaouane et Sidi Kacem contiennent de faibles quantités de K et que, selon les normes qu'il a utilisé, ces sols sont pauvres en K. Cependant, l'appréciation de la richesse du sol est différente selon les normes d'interprétation adoptées (Schmidt et Hesse, 1975; Khana, 1979; Azzaoui, 1979, 1980, 1991; Azzaoui et Loudyi, 1988; Azzaoui et Alilou, 1990; Azzaoui et al., 1991; Agbani, 1979; Agbani et al., 1983; Schmidt et al., 1981; Mrabet et Rkiek, 1984; Parfonry et Hesse, 1984; Ouabou, 1987; Ben Amara, 1988; Mouhib, 1988; Tazi, 1988). Boutfirass et Belfkir (1982) ont montré que les sols Châtains de Tassaout et les Serolems du Haouz sont riches en K. Ils ont aussi montré que les sols étudiés ont des aptitudes considérables à libérer le K des réserves en utilisant le K-acétate d'ammonium (K échangeable) et le K-NaTPB (K non échangeable). Lamliki (1982) a aussi montré que les sols de parcours du Moyen Atlas sont assez riches en K échangeable et non échangeable. Il a signalé par ailleurs, que les agriculteurs de la région utilisent peu d'engrais. Chkounda et Mghari (1983) ont étudié le K échangeable et non échangeable des sols sableux du littoral atlantique et ont montré, après enquête-analyse, que les sols prospectés ont un faible niveau de fertilité potassique avec une grande variabilité spatiale du K échangeable du sol. Ils ont aussi conclu que cette variabilité montre qu'il faut raisonner la fertilisation potassique par exploitation agricole et non par région. Azzaoui (1980), Ben Amara (1988) et Tazi (1988); en utilisant le K échangeable et la relation Q/I ont rapporté que les sols du Sais, de la Chaouia et du Gharb ont des quantités variables de K échangeable et que celui-ci est bien corrélé avec le K des réserves. Zerrari (1986) a montré que la participation du K non échangeable à la nutrition du maïs a été de 61 % en sols argileux et de 16% en sol sableux. Amar (1986) et El Harchioui (1989) ont trouvé des résultats similaires pour la betterave à sucre. El Oumri (1985) et Sitou (1985) ont montré que sur 500.000 hectares cartographiés, seuls 11% des sols de Abda et 8 % des sols de la Chaouia contiennent moins de 150 ppm de K échangeable. Ces sols sont des peu évolués, fertillitiques et sableux. Ryan et al. (1990) ont montré, à travers une enquête-analyse des sols des zones arides et semi-arides, que seulement 4 % des sols prélevés contiennent moins de 150 ppm de K échangeable.

Dans d'autres pays, des recherches ont été réalisées pour déterminer le K disponible (échangeable) aux plantes et le K potentiellement disponible (non échangeable). Le K échangeable déterminé par l'acétate d'ammonium normal et neutre a été adopté partout depuis longtemps comme une méthode d'analyse adéquate, simple et rapide, aussi bien dans les sols calcaires que dans les sols acides, pour juger la fertilité K des sols et formuler des recommandations d'engrais pour les agriculteurs (Fisher, 1974; Lunt et al., 1974; Reinheuser et al., 1976; Whitney, 1976; Drycott et Durant, 1976; Hanson et Brown, 1977; Soltanpour et al., 1979; Meissner et Clarke, 1979; Daigger et al., 1978; Ryan et al. 1980; Olsen et al., 1981; Rehm et al., 1982; Hagin et Tucker, 1982; Buholtz et al., 1983; Ryan et Sahyouni, 1983).

LES NORMES D'INTERPRETATION :

Les normes d'interprétations au Maroc

Depuis l'indépendance, des essais d'apport d'engrais ont été conduits au Maroc souvent sans analyses du sol et des plantes. Ceci n'a pas permis aux différents chercheurs d'émettre des recommandations pertinentes. Cependant, les données accumulées au Maroc peuvent être complétées par celles des pays ayant des conditions de climat et de sol similaires où les essais et les analyses du sol et plantes ont été exploités.

Les essais de calibration des analyses du K du sol et plante sont récents au Maroc (Schmidt et Hesse, 1975; Azzaoui 1979, 1980, 1991; Azzaoui et al., 1991; Schmidt et al., 1981; Parfonry et Hesse, 1984). Pour l'azote, le phosphore et le potassium; l'équipe de Soltanpour a commencé en 1985 la calibration des analyses du sol et plante dans les sols de la Chaouia et Abda. Moussadeq, Moghli et leurs étudiants (IAV Hasan II) ont commencé en 1988 la calibration des analyses NPK du sol et plante pour les céréales, betterave à sucre et coton dans les périmètres irrigués du Gharb et Tadla. Les essais de calibration réalisés au Maroc et ailleurs ont permis aux chercheurs de fournir des recommandations optimales, de ne conseiller l'apport d'engrais NPK que lorsqu'il est nécessaire et d'éviter les recommandations de sécurité.

Schmidt et al. (1981) ont trouvé que, dans les régions à plantes sucrières du Maroc, la teneur du jus varie de 6,6 à Bel Ksiri à 12,3 méq/100 g à Bou Areg (Basse Moulouya). Ils ont utilisé la teneur en K du jus de la canne à sucre de 4,1 méq/100 g comme seuil critique et indice de nutrition potassique. Les teneurs obtenues sont bien supérieures au seuil critique. Ils ont aussi mentionné qu'au niveau du périmètre du Loukkos, il y a lieu de différencier entre les sols de la vallée du Loukkos (sols lourds) et les sols sableux (R'mal). Dans la vallée du Loukkos et dans des essais qui ont duré 14 ans (1964-78); la teneur en K du jus a varié de 7,5 à 9,2 méq/100 g sur les sols lourds alors que dans les sols sableux, la teneur maximale observée a été de 3,8 méq/100 g qui est au dessous du seuil critique. Ces mêmes auteurs ont conseillé l'arrêt de la fertilisation K des plantes sucrières dans les sols du Gharb, Tadla, de la Moulouya et la vallée du Loukkos jusqu'à ce que la teneur du jus soit au dessous du seuil critique de 4,1 méq/100 g car un apport excessif de K peut diminuer la cristallisation du sucre. Dans les "R'mal" de la région du Loukkos et pour un rendement moyen visé de 90 tonnes/ha, ils ont recommandé 160 Kg K₂O/ha. Cette dose serait inférieure si la quantité de K apportée par l'eau d'irrigation est soustraite. Ait Houssa et al. (1991) ont proposé des normes basées sur une modification de l'abaque de Quemener (1976) qui relie le K échangeable au % d'argile dans le sol. Azzaoui (1991), Azzaoui et al., (1991) ont proposé un seuil critique de 150 ppm pour le mélange fourrager vesce-orge et pour les céréales dans les sols de la Chaouia et Abda.

Les normes d'interprétation dans d'autres pays

Dans d'autres pays, des seuils critiques de fertilité K allant de 60 à 160 ppm de K échangeable dans l'horizon 0-20cm sont retenus, toutes cultures, sols,

conduites et rotations confondus. Au delà de ces seuils, l'apport de K aux cultures n'est pas recommandé. A titre d'exemples : En Australie, Meissner et Clarke (1979) ont rapporté un seuil critique de 90 ppm de K pour les prairies sur sols sableux. Drycott et Durant (1976) ont trouvé que la réponse de la betterave à sucre dans les sols sableux est importante quand le K échangeable est inférieur à 60 ppm, moyenne quand il est entre 60 et 120 ppm et est faible ou nulle quand le K échangeable est supérieur à 120 ppm. Ces auteurs ne conseillent d'apporter du K que si le K échangeable est inférieur à 120 ppm. Loué (1983) a aussi rapporté que la réponse de la betterave à sucre aux apports de K est faible lorsque la teneur du sol en K est supérieure à 120 ppm. Au Kansas, quand le K échangeable est supérieur à 160 ppm, Whitney (1976) ne recommande aucune fertilisation potassique que se soit en sec ou en irrigué pour le maïs (hybride compris), le sorgho à grain et fourrager, le blé, le soja, les légumineuses alimentaires et fourragères, les cultures fourragères (la luzerne comprise), la betterave à sucre et les prairies. Pour ces mêmes cultures, Soltanpour et al. (1979) les seuils critiques sont 120 ppm pour l'irrigué et 60 ppm en sec, au Colorado. Aucun apport de K n'est conseillé quand le K échangeable est supérieur à ces seuils; cependant, pour la pomme de terre, le seuil critique est de 180 ppm pour un rendement supérieur à 40 T/ha (Soltanpour et al., 1979). Pour le tournesol en sec (rendement moyen de 15 qx/ha) et en irrigué (rendement moyen de 32 qx/ha), aucun apport de K n'est conseillé pour le tournesol quand le K échangeable est supérieur à 120 ppm (Anderson, 1986). Pour la luzerne en sec et en irrigué, aucun apport de K n'est conseillé quand le K échangeable est supérieur à 120 ppm (Knudsen et Rehm, 1977). En Californie, Lunt et al. (1974) ont signalé qu'en cultures intensives en plein champ, la réponse à l'apport de K n'a été constatée qu'après cent ans de cultures et ce n'est qu'à partir de l'observation des carences que des recommandations d'engrais potassiques ont commencé à être faites sur la base du K échangeable et du modèle mathématique Mitscherlich-Bray.

D'autres normes d'interprétations sont utilisées pour évaluer le niveau de fertilité K du sol et interpréter les analyses de sol et la teneur en K des plantes pour suivre l'évolution du K apporté et l'efficacité de la méthode et la forme d'apport des engrais potassiques. Ces normes relient le K échangeable à la capacité d'échange cationique (CEC): A titre d'exemples : Straman et al. (1978) ont considéré les sols dont le K échangeable représente 5 % de la CEC comme normalement pourvus, alors que ceux avec moins de 1% de la CEC comme pauvres en K. Fisher, 1974 et Buholtz et al. (1983) ont développé un modèle quadratique qui relie le seuil critique en K des cultures à un supplément lié à la CEC pour déterminer l'indice de fertilité potassique (IF). A partir de ces modèles pour K et d'autres modèles pour N et P, un programme informatique intégré a été établi pour les recommandations d'engrais N, P et K pour différentes cultures. Buholtz et al. (1983) ont établi les normes de fertilité K comme suit : Si IF est inférieur à 75, le sol est pauvre en K; entre 75 et 150, le sol a un niveau moyen de K; entre 150 et 200, le sol a un niveau élevé en K et si IF est supérieur à 200, le niveau de fertilité K est très élevé.

L'indice de fertilité K (IF) de Buholtz et al. (1983) et l'IF modifié par Azzaoui (1991), le % de K échangeable lié à la CEC de Straman et al. (1978), le

K échangeable lié au % d'argile d'Ait Houssa et al. (1991) et le seuil critique de 150 ppm proposé par Azzaoui (1991), Azzaoui et al. (1991) ont été testés pour les sols de la Chaouia, Abda et Doukkala (Tableau I) pour voir si les normes de ces modèles sont conformes aux résultats des essais sous serre et au champ. Il s'est avéré que toutes les analyses indiquent que les sols sont riches en K conformément aux résultats des essais aux champs à l'exception de la méthode qui utilisent l'abaque du % d'argile. Cette méthode ne semble pas être adaptée aux sols marocains.

RICHESSSE DES SOLS EN POTASSIUM

Richesse des sols marocains en potassium

Au Maroc, les études sur la fertilité des sols et la fertilisation potassique des cultures ont commencé dans les années cinquante et se poursuivent de nos jours. En effet, Thomman (1952), après évaluation de la richesse naturelle des sols en K, a conclu que la majorité des sols du Maroc sont riches en cet élément.

Tableau I : Classement de la richesse des sols de la Chaouia, Abda et Doukkala.

Sols	K échangeable				K non échangeable		
	IF	%CEC	%arg.	SC.	IF	%CEC	%arg.
Sableux	M	M	TF	M	TE	E	F
Rendzine	TE	M	F	E	TE	E	M
Brun Calcaire	E	M	F	E	TE	M	M
Châtain	E	M	TF	E	TE	E	E
Vertisol	E	M	TF	E	TE	M	F

IF = indice de fertilité, % arg = % argile,

SC = seuil critique de 150 ppm.

TF = très faible, F = faible, M = moyen, E = élevé, TE = très élevé.

Caby (1961) a confirmé ces résultats en étudiant les sols Tirs du Gharb, Châtain et Brun Calcaire de Meknès et Fes Saïs, Rouge Méditerranéen des Zaïrs et Châtain du Tadla. Michel et al. (1967) ont aussi confirmé ces résultats, par des essais en pot, en étudiant huit types de sols considérés comme les plus représentatifs du Maroc.

Dans un premier bilan des essais de longues durées de l'INRA, Bouzoubaa (1973) a montré que l'apport de K n'a eu ni effet direct ni indirect sur le

rendement des cultures dans différentes rotations pratiquées en irrigué et en sec après 3 à 4 années d'épuisement. Agbani (1978), Agbani et al. (1983) ont fait un deuxième bilan de ces essais et ont conclu qu'après 7 à 9 années d'épuisement par les cultures il n'y a pas eu de réponse à l'apport de K par les cultures, même pour les plus exigeantes telles que la canne à sucre et la betterave sucrière. Dans un troisième bilan de ces essais, Squalli (1982) a aussi rapporté que les cultures ne répondent pas à l'apport de K après 10 à 12 années d'épuisement. Ces auteurs ont, par ailleurs, signalé que les apports de K n'ont fait qu'augmenter la richesse du sol en K échangeable. Dans un quatrième bilan de ces essais, Ouabou (1987) est arrivé aux conclusions suivantes :

- En considérant le K échangeable des parcelles appauvris KO (sans apport de K), le niveau de richesse en K des sols de ces essais est différent.
- Les doses successives de K apportées n'ont généralement pas augmenté le niveau de K échangeable.
- Dans un essai de microculture Stanford de Ment, l'absorption du K par le ray gras a été plus élevé dans les sols des parcelles fertilisées que dans les sols des parcelles témoins.
- La diminution du K échangeable du sol sableux de Boulaouane suggère un apport de K pour couvrir les besoins des cultures.

Azzaoui et Alilou (1990) ont analysé le bilan de K de ces essais de longues durées en tenant compte du témoin KO, de l'apport K maximale et des exportations de Kestimée à partir de chiffres d'autres pays. Les résultats (tableau II) montrent que les sols étudiés contiennent des réserves considérables en K et que les sols continuent à fournir du K aux cultures. A titre indicatif, à la Station d'Affourar au Tadla, les exportations cumulées pendant 17 années ont été de l'ordre de 6450 kg k/ha alors que, même avec le traitement d'apport annuel maximal, l'apport cumulé serait de 2680 kg k/ha. Par conséquent les apports ne couvraient même pas les exportations; et dans le traitement témoin, tous le K exporté 6457 Kg K/ha provenait de la réserve naturelle du sol en K disponible et potentiellement disponible.

La richesse naturelle des sols du Maroc est due à leur pédogenèse récente. En effet, ces sols sont considérés comme "jeunes" et moins lessivés que les sols Fertiallitiques et sableux des zones à pluviométrie élevée et qui sont dominés par des minéraux argileux pauvres en K, comme la kaolinite. La pauvreté en K de ces sols a pour origine l'altération des minéraux argileux, et donc la libération du K des réserves et son lessivage par l'action des pluies abondantes ou de l'irrigation. Les minéraux argileux du sol dominants au Maroc, et surtout dans ceux du Sais et du Gharb, sont du type 2 : 1 (montmorillonite et illite) riches en K (Deflandre, 1970; 1980). Cet auteur a aussi signalé la présence d'argile de type beidellite ferrique et magnésienne dans ces sols. Badraoui (1988) a confirmé ces résultats pour les sols du Gharb et de la Chaouia. La présence de ces minéraux dans les sols et les cycles d'huméctation et dessiccation après irrigation ou pluie permettent aux sols de libérer du K potentiellement disponible et de le mettre à la disposition des racines.

Tableau II . Bilan potassique des sols des essais de longues durées de l'INRA (Azzaoui et Alilou, 1990).

Site	Durée (ans)	Argile %	Rotation 1	K apporté Kg/ha ²	K exporté Kg/ha ³	Bilan ⁴ Kg/ha
Sidi Kacem	12	43	2/7/6/8/5	0	1645	- 1645
Ellouizia	15	15	2/4	1380	1646	- 266
Tessaout	16	43	2/7/6/8/5	0	521	- 521
Souihla	14	24	2/7/6/8/5	1320	555	765
Afourar	17	44	2/7/6/8/5	0	9479	- 9479
Boulaouane	10	9	2/7/6/8/5	2520	9721	- 7201
Dar Bouazza	10	16	1/2/3	0	5863	- 5863
				2320	6086	- 3766
				0	6457	- 6457
				2640	6450	- 3809
				0	5406	- 5406
				2680	5416	- 2736
				0	516	- 516
				1800	455	+ 1345

1. Cultures et rotation pratiquées : 1 = pomme de terre, 2 = blé, 3 = oignon, 4 = légumineuses, 5 = betterave, 6 = fourrages, 7 = maïs, 8 = coton.
2. Minimum et maximum K apporté dans chaque site.
3. K total exporté pour KO et K-maximal.
4. Bilan = K exporté - K apporté.

Richesse des sols en K dans d'autres pays

Dans d'autres pays, la question de la fertilisation potassique n'est plus posée. L'apport des engrais n'est effectué que s'il est nécessaire pour une production optimale. Des seuils critiques de fertilité et des normes de fertilisation potassique ont été établis pour les sols où il y a réponse des cultures à l'apport de K. La fertilisation potassique n'est pas pratiquée là où l'analyse du sol et des plantes montre un niveau adéquat de K dans le sol et une nutrition satisfaisante des plantes (Fisher, 1974; Lunt et al. 1974; Reinheuser et al., 1976; Whitney, 1976; Drycott et Durant, 1976; Hanson et Brown, 1977; Knudsen et Rehm, 1977; Rehm, 1978; Soltanpour et al., 1979; Meissner et Clarke 1979; Daigger et al.,

1978; Olsen et al., 1981; Rehm et al., 1982; Hagin et Tucker, 1982; Frank et Knudsen, 1982; Buholtz et al., 1983; Anderson, 1986).

Dans le Bassin Méditerranéen et le Moyen Orient, Clawson et al. (1971) et Dregne (1976) ont rapporté que les sols de ces régions sont, en général, moins altérés et ont un niveau élevé de K disponible aux plantes. Ryan and Saad (1980) ont rapporté qu'au Liban, les données accumulées sur plusieurs années montrent qu'il n'y a pas de réponse de différentes cultures à K et que la fertilisation potassique n'est pas conseillée. La majorité des analyses du sol et plantes dans des essais conduits au Liban confirment la richesse des sols en K (Shammas, 1966, Ryan et al., 1980). Sahyouni et Ryan (1983) ont trouvé que, même en culture intensive et continue du ray gras, les sols du Liban continuent à libérer suffisamment de K pour une croissance optimale. Cependant, Hamzé (1983) a conclu qu'il peut y avoir des réponses des rosacées après irrigation des sols sableux de la côte sud du Liban. Il a aussi conclu que cette réponse est probablement due au lessivage excessif du K disponible dans ces sols après irrigations fréquentes. Gharbi (comm. person., 1991) a trouvé, dans des essais de longues durées en Tunisie, qu'il n'y a pas eu de réponse à la fertilisation potassique. En Turquie, à l'Institut de Recherche sur les Sols et Engrais, les essais sur la fertilité des sols et fertilisation potassique des cultures ne sont plus une priorité. Aucun apport de K n'est recommandé pour la majorité des sols de la Turquie (Yurtsever et al., 1991, déclarations lors du Séminaire International de Calibration des Analyses du Sols tenu à Agadir en 1991). A Chypre, on apporte plus de K aux cultures sur la plupart des sols de Chypre (Orphanos, comm. person., 1991).

ETUDE DES CAS

Fertilisation potassique des plantes sucrières

Depuis l'introduction de la betterave à sucre (*Bêta vulgaris*) et la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) au Maroc durant les années soixante, plusieurs recherches ont été réalisées pour évaluer les besoins en K de ces cultures. En effet, dans des essais de fertilisation NPK mis en place en 1963, Schmidt et al. (1969) ont trouvé qu'en bour au Gharb et en irrigué au Tadla, l'apport de K n'a eu aucun effet sur la betterave à sucre. Schmidt et Hesse (1975) ont mené 24 essais de fertilisation potassique sur la betterave sucrière au Tadla et ont montré qu'il n'y a eu aucun effet de l'apport de K sur le rendement. Ils ont également noté que le K est aussi apporté aux cultures par l'eau d'irrigation. Hmamou (1984) a montré que les sols du périmètre irrigué de la Basse Moulouya sont très riches en K et que des essais de fertilisation potassique conduits de 1978 à 1983 n'ont montré aucun effet de K sur la betterave sucrière. Cet auteur a aussi signalé que l'eau d'irrigation de la Moulouya apporte en moyenne 50 Kg K₂O/ha/an et que 90% des échantillons de sol analysés contiennent plus de 400 ppm de K échangeable. Lahlou et Bouirmane (1984) ont montré qu'il n'y a pas eu de

réponse de la betterave sucrière à la fertilisation potassique dans des essais conduits dans les périmètres du Gharb, Tadla, Zmamra, Tassaout et Basse Moulouya de 1980 à 1983. Ces mêmes auteurs ont par ailleurs signalé une baisse moyenne de 1,1% de la richesse en sucre extractible de la betterave avec l'apport de K dans les régions étudiées. Ouaka (1985), El Harchioui (1989) et Hamdani (1990) ont trouvé que la betterave sucrière ne répond pas à l'apport de K au Gharb et Tadla pour des sols dont le K échangeable varie de 212 à 423 ppm. Ait Houssa (1988), par contre, a rapporté que K augmente le taux de sucre dans les Doukkala et a conseillé l'apport de 250 à 300 Kg K₂O/ha. Dadi (1988) et Achagg (1989) ont trouvé que, dans les sols des Doukkala et pour des rendements de 80 à 95 T/ha, une réponse peut être obtenue avec 300 Kg K₂O/ha. N'ciri (1988), par contre, a signalé que, dans les essais catalogue, et avec seulement 80 Kg K₂O/ha les rendements de la betterave dans les Doukkala ont été supérieurs à 80 t/ha avec une teneur de sucre moyenne de 16%. Moghli (commun. person.) a signalé que l'apport de K à la betterave n'a eu d'effet ni sur le rendement en racine ni sur le taux de sucre dans 12 essais chez les agriculteurs en 1991 au Tadla. Par conséquent, il est évident que l'apport de K n'améliore pas la teneur en sucre. Parfonry et Hesse (1984), M'rabet et Rkiek (1984) ont trouvé que les sols "R'mal" du Loukkos sont très pauvres en K et que la canne à sucre répond aux apports de K sur ces sols alors qu'il n'y a pas eu de réponse sur les sols Dehs et Tirs du Gharb et du Loukkos.

En résumé, les recherches sur la fertilisation potassique des plantes sucrières ont montré que la betterave et la canne à sucre ne répondent pas à l'apport de K dans les périmètres du Tadla, du Gharb de la Basse Moulouya et les sols lourds de la vallée du Loukkos. L'arrêt de l'apport de K a été conseillé dans ces zones. Un seuil critique de fertilité K a été déterminé pour la canne à sucre dans les sols sableux du Loukkos. Des résultats contradictoires sont obtenus dans le périmètre des Doukkala (N'ciri, 1988; Ait Houssa, 1988; Dadi, 1988; Achagg, 1989).

Fertilisation potassique des plantes fourragères

Les cultures fourragères sont aussi exigeantes en K que les plantes sucrières (Mengel et Kirby, 1982). El Haloui et Chikhi (1979) ont conclu que la fertilisation potassique n'a eu d'effet, ni sur la quantité ni sur la qualité des cultures fourragères produites. Les différentes mises au point sur les essais de longues durées de l'INRA ont montré que, même en condition d'épuisement, les cultures fourragères incluses dans les rotations pratiquées ne répondent pas à l'apport de K. Mouhib (1988) et Ben Amara (1988) n'ont observé aucune réponse à la fertilisation K du ray gras sous serre et du mélange fourrager vesce-orge (*Vicia avena-Hordeum vulgare*) chez les agriculteurs de la Chaouia et dans les sols de Abda et Boulaouane où les sols ont un K échangeable allant de 80 à 390 ppm. Mouhib (1988) a aussi montré que le K n'a pas eu d'effet sur la qualité du fourrage produit. Dans des essais chez les agriculteurs (tableau III), Azzaoui et al. (1991) ont montré que le mélange fourrager vesce-orge ne répond pas à l'apport de K dans des sols ayant un K échangeable supérieur à 150 ppm.

Tableau III. Rendement en matière sèche du mélange vesce-orge en fonction des apports de K (Azzaoui et al. 1991).

Dose K ₂ O Kg/ha	Sol Rendzine		Sol Brun calcaire	
	1988	1989	1988	1989
Tonne/ha.....			
0	10.1	8.5	8.2	7.3
50	10.1	8.6	8.1	7.6
100	10.1	8.5	8.1	7.5
150	10.1	8.4	8.1	7.4
200	10.2	8.5	8.1	7.6

Badraoui et al. (1991) ont montré qu'en culture intensive du ray-gras sous serre, seul un sol parmi cinq étudiés a répondu à l'apport de K après huit coupes successives. Ces mêmes auteurs ont déclaré que quatre sols étudiés du Gharb et de la Chaouia n'ont probablement pas besoin de fertilisation potassique car ce sont des sols "Jeunes" qui ont un niveau élevé de K échangeable et non échangeable. Ils ont aussi conclu qu'il est probable que le K de ces sols pourrait subvenir aux besoins des cultures pour une longue durée. Azzaoui (1991), à partir des analyses des plantes dans des essais de fertilisation phosphatée de la luzerne irriguée au Haouz (El Oumri et al. 1990), a constaté une teneur moyenne satisfaisante de 2.8% de K dans la luzerne bien que les apports de 250 Kg K₂O/ha n'aient pas couvert les exportations de 656 kg K₂O/ha pour un rendement total en matière sèche de la luzernière de 29 T/ha.

En résumé, les essais de fertilisation potassique ont montré que les plantes fourragères ne répondent pas aux apports de K.

Fertilisation potassique des cultures céréalières

Les essais de longues durées de l'INRA sont la référence acceptable et unique sur la fertilisation potassique des céréales dans différentes régions, types de sol, rotations avec et sans irrigation. Ces essais montrent aussi que le blé (*Triticum aestivum*) et le maïs (*Zea mays*), qui sont moins exigeants en K que les plantes sucrières et fourragères, ne répondent pas à l'apport de K même en condition d'épuisement des sols et après des cultures beaucoup plus exigeantes en K (Bouzoubaa, 1973; Agbani, 1978; Agbani et al., 1983; Ait Houssa, 1979; Squalli, 1982; Ouabou, 1987; Azzaoui et Alilou, 1990). D'autres recherches ont confirmé les résultats de ces essais. En effet, Azzaoui (1979, 1980) a montré

qu'il n'y a pas eu de réponse du blé tendre au K dans des essais d'épuisement intensif des sols de Méknès et Midelt. El Midaoui (1981) a également montré que les sols du Saïs et Meknès sont suffisamment pourvus en K pour la céréaliculture. Amnay (1984) a trouvé qu'il n'y a pas eu d'effet des apports de K sur blé tendre à Marchouch. Azzaoui (1991) a aussi montré que le blé tendre Saada n'a pas répondu à l'apport de K dans la Chaouia (Tableau IV). Zerrari (1986) a montré que le maïs n'a pas répondu à l'apport de K.

Tableau IV. Effet du K sur les rendements du blé tendre Saada dans la Chaouia (Azzaoui 1991).

Rendement (qx/ha)Kg K ₂ O/ha.....				
	0	50	100	150	200
Matière sèche	82,8	79,6	79,8	84,5	81,2
Grain	27,7	25,2	26,2	27,1	25,6

En résumé, les recherches menées sur la fertilisation potassique des céréales montrent qu'ils ne répondent pas à l'apport de K dans la plupart des sols du Maroc.

Fertilisation potassique de l'olivier, prunier et pommier.

Senhaji (1984) a rapporté que la fertilisation potassique de l'olivier (*Olea europaea L.*) a été supprimée depuis 1977 en régime pluvial et depuis 1983 en irrigué dans les domaines de la Société de développement Agricole (SODEA). Chahbar et al. (1984) ont rapporté que la fertilisation potassique a augmenté le rendement du prunier (*Prunus salicina*) de 22% alors qu'elle n'a pas agit sur le poids moyen du fruit dans une expérimentation menée pendant sept ans sur un sol léger du domaine expérimental de Ain Taoujdade (Méknès). Loussert (1990) a rapporté que la carence en K est fréquente pour le pommier (*Malus pumila*) cultivé sur sols sableux au Maroc. Cet auteur a aussi rapporté que la carence en magnésium due à l'excès de K est aussi fréquente dans les sols sableux. Il a conseillé, à partir de la bibliographie, d'apporter 120 Kg K₂O/ha/an aux vergers adultes en pleine production (30 à 40 t/ha).

En résumé, le constat de la situation actuelle est que les engrais potassiques continuent à être utilisés alors que les travaux de recherche réalisés depuis les années cinquante à nos jours ont démontré la richesse en K de la majorité des sols du Maroc. De plus, les analyses des sols et des plantes aussi bien dans les zones irriguées que les zones à agriculture pluviale ont démontré l'inopportunité d'apporter de tels engrais. Les sols sableux des Doukkala et autres zones côtières, où la réponse de la betterave à sucre à l'apport de K a été rapportée, semblent être l'exception à cette généralisation. Pour les sols "R'mal"

du Loukkos, des réponses de la canne à sucre ont été nettes. La calibration de la teneur du jus de la canne à sucre en K et la détermination du seuil critique ont permis de donner des recommandations raisonnées de fertilisation potassique pour toutes les zones de cultures de canne à sucre au Maroc (Schmidt et al., 1981). Les normes de fertilisation K, basées sur les analyses du sol et plante pour les céréales et fourrages ont été proposées par Azzaoui (1991) et Azzaoui et al. (1991).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats accumulés dans différentes régions du Maroc montrent que tous les sols étudiés dans les périmètres irrigués (Basse Moulouya, Gharb, Haouz et Tadla) et les zones à agriculture pluviale (Fès Saïs, Méknès, Gharb, Zaïrs, Chrarda, Abda et Chaouia) ont des réserves considérables en K et que même les cultures les plus exigeantes en K ne répondent pas à la fertilisation potassique.

L'eau d'irrigation apporte en moyenne 40 à 60 Kg K_2O /ha aux sols, et bien sûr aux cultures, dans les périmètres de la Basse Moulouya, Tadla et très probablement dans d'autres périmètres. Le K échangeable a été confirmé comme un bon indice de fertilité K des sols du Maroc.

Certaines normes d'interprétation étrangères testées au Maroc ne semblent pas être adaptées aux sols du Maroc puisque même dans des sols classés pauvres en K, les cultures ne répondent pas à la fertilisation potassique. La réponse des cultures sur les sols de la Chaouia, Abda et Boulaouane, classés pauvres à moyens selon l'abaque de Quemener et pauvres selon l'abaque d'Ait Houssa, n'a été observée ni en cultures d'épuisement sous serre ni après la production de huit à onze tonnes de matière sèche de fourrage et de blé par hectare.

Des augmentations importantes (22 à 66%) de rendement de la canne à sucre ont été observées sur les sols sableux (R'mal) du Loukkos. Le seuil critique du K pour la fertilisation de la canne à sucre a été établi. Ainsi, l'effet négatif de l'abus de fertilisation potassique (et azotée) sur le taux de sucre cristallisé de la canne et la betterave sucrière au Gharb, Loukkos, Moulouya et Tadla pourrait être évité. L'arrêt de la fertilisation potassique a été conseillée jusqu'à ce que la teneur du jus en sucre soit inférieur au seuil critique établi pour les plantes sucrières.

Le seuil critique de 150 ppm de K échangeable, extrait du sol de l'horizon 0-20 cm avec l'acétate d'ammonium normal et neutre, est proposé comme seuil critique de richesse des sols en K en cultures sèches et irriguées. Ce seuil serait en réalité inférieur à 150 ppm puisque les plantes puisent aussi du potassium des horizons inférieurs du sol durant leur cycle végétatif. Dans d'autres pays ce seuil est de 60 à 160 ppm toutes cultures, rotations, conduites et tous sols confondus.

L'apport d'engrais potassique aux cultures devrait être considéré comme accessoire, ne pouvant se justifier qu'en dessous du seuil critique de 150 ppm proposé pour l'agriculture pluviale et irriguée. Ce qui implique sa soustraction des engrais composés disponibles sur le marché. Cependant, il faudrait continuer à observer les essais de longue durée de l'INRA et installer d'autres sites d'observation de longues durées pour juger d'un éventuel appauvrissement.

La priorité devrait ainsi être donnée à la calibration des analyses du K des sols et plantes dans les sols sableux et les sols à pédogenèse ancienne afin de déterminer les seuils critiques et les normes de fertilisation potassique pour toutes les cultures, hormis la canne à sucre, pour lesquelles on n'a ni seuils critiques ni normes de fertilisation.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'INRA, le MIAC et l'IFAD, Settat pour le financement partiel de ce travail et Mme Sefrioui, Mrs. Agbani, Badraoui, Balaghi, Bouzza, El Oumri, Jlibene, Squalli, Zerrari ainsi que le comité de lecture pour la révision enrichissante du document original et de la présente publication.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Achagg, H. 1989. Incidence de l'équilibre NxK sur le rendement et qualité technologique de trois types de variétés de la betterave à sucre. Mémoire de 3ème cycle, DPV, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.

Agbani, M. 1978. Analyse du comportement de quelques sols marocains sous l'effet de différents niveaux de fertilisation potassique dans des essais de longues durées. Mémoire de 3ème cycle, DPV, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.

Agbani, M., J. Quemener, et F. Papy. 1983. résultats d'essais d'épuisement en K dans plusieurs types de sol du Maroc. Actes Inst. Agro. Vet. 3 : 11-25. IAV Hassan II, Maroc.

Agbani, M. et B. Amar. 1988. Participation des divers états de K à l'alimentation de la betterave sucrière dans deux types de sols. (In) A. Azzaoui, (ed.). Actes du 3ème séminaire de fertilité du sol. ISN n°58, DIF, INRA, Rabat, Maroc.

Ait Houssa, A. 1979. Etude du K dans les sols cultivés de trois régions du Maroc. Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.

Ait Houssa, A. 1988. Compte rendu des essais de fertilisation potassique de la betterave sucrière de la SASMA dans les Doukkala. Table ronde, ORMVD, El Jadida, Maroc.

Ait Houssa, A., J. Quemener, et P. Villemin. 1991. Mise au point de normes d'interprétation à partir de l'enquête au champ et de l'analyse de terre. Dossiers Agri. d'Aspach Le bas n° 4 : 1-13.

Alexander, V. T. and N. M. Misra. 1972. Effect of pre-soaking seed by potash on drought tolerance of wheat under rainfed conditions. Potash Rev. 9 : 3-22.

Amnay, L. 1984. Essais de fumure NPK sur le blé tendre dans les Zaïrs. (In) Anonyme (ed.). Journées Nationales de Fertilisation. DIF, INRA, Rabat, Maroc.

Amar, B. 1986. Contribution des différents états du K à l'alimentation de la betterave à sucre. Mémoire de 3ème cycle, DPV, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.

Anderson, F. N. 1986. Fertilizing sunflowers in Nebraska. Neb Guide G 86-827. Coop. Ext. Serv. IANR, UNL, Neb, USA.

Ayoujil, A. 1988. Variabilité spatiale du K échangeable et réponse à la fertilisation K du blé tendre Nasma sur un sol vertique de la Chaouia. Mémoire de 3ème cycle, DSS, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.

Azzaoui, A. 1979. Rapport d'un essai de calibration de K à la réponse du blé tendre Nasma dans un sol Brun Calcaire de Méknès. Cours de fertilité du sol 78/79, ENA, Méknès, Maroc.

Azzaoui, A. 1980. Comparaison de quelques indices de fertilité K des sols de Méknès et Midelt en relation avec leur réponse aux apports de K
Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.

Azzaoui, A. 1991. Fertilité potassique des sols des zones arides et semi-arides.
Rapport de reclassement.
Dpt. du Milieu Physique, DIF, INRA, Rabat, Maroc.

Azzaoui, A. et B. Loudyi. 1988. Comparaison de quelques indices de fertilité K de certains sols de Méknès et Midelt. (In). A. Azzaoui, (ed.). Actes du 3ème séminaire de fertilité du sol.
ISN n° 58, DIF, INRA, Rabat, Maroc.

Azzaoui, A. et F. Alilou. 1990. Bilan potassique des essais de longues durées de l'INRA. Rapport annuel (1990/91) du Programme Aridoculture, INRA/MIAC AID Projet 0136.

Azzaoui, A., M. Mouhib, and P.N. Soltanpour. 1991. Response of dryland Barley-Vetch mixture to potassium rates. In press. Al Awamia n° 79, Spécial fourrage. (Submitted to Al Awamia in 1991).

Badraoui, M. 1988. Mineralogie and K availability in soils from Chaouia and Gharb regions on northwestern Morocco.
PhD thesis, IAV, Hassan II, Rabat, Morocco.

Badraoui, M., M. Bazza, M. Ayoujil, et A. Marzouk. 1988. Variabilité spatiale du K échangeable d'un sol de la Chaouia : Application aux essais de fertilisation K. (In) A. Azzaoui, (ed.). Actes du 3ème séminaire de fertilité du sol.
ISN n°58, DIF, INRA, Rabat, Maroc.

Badraoui, M., P. R. Bloom, and A. Delmalki. 1991. Mobilisation of non exchangeable K in five moroccan soils with and without mica. (In press, Plant and Soil).

Bardaa, J. et A. Haddouche. 1984. Contribution à l'étude de la productivité de l'association légumineuse-graminée en sec.
Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.

Beckett, P. H. T. 1964. Studies on soil K, II : The immediate relation of labile K in soils.
Soil Sci. 15 : 9-23.

Ben Amara, J. 1988. Comparaison de quelques indices de fertilité potassique dans les sols de la Chaouia.
Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.

Boutfirass, M et M. Belfkir. 1982. Appréciation de la fertilité potassique des sols dans deux zones du Haouz de Marrakech.
Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.

Bouzoubaa, A. 1973. Etude de la fertilité potassique de quelques sols marocains.
Doc. roneo, DRA, Rabat, Maroc.

- Buholtz, D.D. J.R. Brown, J.D. Garrett, R.G. Hanson and H.G. Wheaton. 1983. Soil testing interprétation and recommandations handbook. UMC, College of Agri. Dpt. of Agron, Columbia, Mo, USA.
- Caby, J. 1961. Richesse en élèments fertilisants des sols. Cahiers de la Rech. Agron. 12 : 19-24. INRA, Rabat, Maroc.
- Chahbar, A., M. Laghezali et M. Dekkaki. 1984. Essais de fertilisation du prunier Stanley. (In) Anonyme (ed.). Journées Nationales de Fertilisation. DIF, Rabat, INRA, Maroc.
- Chkounda, M, et A. Mghari. 1983. Dignostique potassique dans les sols sableux de la côte atlantique du Maroc. Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.
- Clawson, M., H. H. Landsberg, and L. T. Alexander. 1971. The agricultural potential of the Middle East. Elsevier Publ. Co., New York, USA.
- Daigger, L., F. N. Anderson and D. Knudson. 1978. Fertilizing sugar beet, NEB Guides, G 73-8. Coop. Ext. Serv. Inst. of Agr. and Nat. Res. University of Nebraska, Lincoln, USA.
- Deflandre, A. 1970. Contribution à l'étude de l'influence de divers composants sur le caractère physico-chimique des sols, I : sols du Gharb. Al Awamia. 36 : 91-135, DIF, INRA, Rabat, Maroc.
- Deflandre, A. 1980. Contribution à l'étude de l'influence de divers composants sur le caractère physico-chimique des sols, II : sols du Saïs. Al Awamia. 60 : 1-44, DIF, INRA, Rabat, Maroc.
- Dregne, H.E. 1976. Soils of arid regions. Elsevier Scientific Publi. Co, Amsterdam, Holland.
- Drycott, A.P and M.J. Durant, 1976. Response of sugar beet to K and Na fertilizers particularly in soils containing little exchangeable K. J. Agr. Sci. 87 : 105-112.
- El Harchioui, L. 1989. Etude de l'effet de l'équilibre NK sur le rendement et la qualité de la betterave sucrière. Mémoire de 3ème cycle, DPV, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.
- El Haloui, M. et A. Chikhi. 1979. Effet de la fertilisation K sur la productivité et la valeur fourragère de la végétation naturelle. Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.
- El Oumri, M. 1985. Etude pédagogique au 1/50.000^{ème} des sols de Abda. Projet intégré de Abda. Dpt. du Milieu Physique. Rabat, INRA, Maroc.

- El Oumri, M., B. Baya, N. Sefrioui, et M. El Allam. 1990. Fertilisation phosphatée de la luzerne conduite en irrigué dans le Haouz : résultats de la 2ème année. Projet de recherche INRA/IMPHOS. Dpt. du Milieu Physique, INRA, Maroc.
- Fertima. 1990. Recommandation pour une utilisation raisonnée des engrais. Soc. Anonyme, Groupe OCP, Casablanca, Maroc.
- Fisher, T.R. 1974. Some considerations for interpretation of soil tests for phosphorus and potassium. Agri. Exp. St. Res. Bull. n°1007. UMC, Columbia, MO, USA.
- Hamzé, M. 1983. Recherches sur la nutrition et la chlorose des agrumes des sols calcaires. Thèse, Université de Montpellier, France.
- Hagin, J. and B. Tucker. 1982. Fertilisation of dryland and irrigated soils. Adv. Ser. in Agr. Sci. n°12. Springer Verlag Pub. New York.
- Hanson, R.G. and J.R. Brown. 1977. Computerized soil test interpretation handbook. College of AG. Dpt of Agron, UMC, Columbia, Mo, USA.
- Hmamou, L. 1984. La fertilisation de la betterave à sucre dans la Basse Moulouya. (In) Anonyme (ed.). Journées Nationales de Fertilisation. DIF, INRA, Rabat, Maroc.
- Khana, A. 1979. Contribution à l'étude de la fertilité potassique des sols de Méknès. Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.
- Knudsen, D., G. A. Peterson, and P. F. Pratt. 1982. Lithium, Na and K. analysis. (In) Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Mono. 9 : 225-245. Soil Sci. Soc. Amer. USA.
- Knudsen, D. and G. Rehm. 1977. Fertilizer management for alfalfa. Neb Guide G 73-2. Coop. Ext. Serv. IANR. UNL, Neb, USA .
- Lahlou, A. et A. Bouirmane. 1984. Fertilisation de la betterave sucrière au Maroc. (In) Anonyme (ed.). Journées Nationales de Fertilisation. DIF, INRA, Rabat, Maroc.
- Lamliki, H. 1982. Appréciation de la fertilité potassique des sols de Tigrigra au Moyen Atlas. Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.
- Loué, A. 1983. Le potassium et la betterave sucrière. Revue au service de l'agriculture. Dossiers K₂O n°23. Aspach Le Bas, France.
- Loussert, R. 1990. La fertilisation du pommier. Exposé au séminaire sur la culture du pommier à Méknès. INRA, Maroc.

- Lunt, O. R.R., L. Branson, P. F. Foong, and J. M. Riblle. 1974. Potassium release from some semi aride région soils. Trans. 10th Int. Cong. Soil Sci. IV : 366-375.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1982. Principle of plant nutrition. 2nd edition. Chapter 10 : Potassium. P. 410-430. Int. Potash Inst. Publ., Bern, Switzerland.
- Michel, C., A. Oudghiri, et A. Dardari. 1967. Diagnostique des carences minérales des sols du Maroc en vase de végétation. Al Awamia. 23 : 1-58.
- Mouhib, M. 1988. Effet de la fertilisation K sur la quantité et la qualité du mélange fourrager vesce-orge dans la Chaouia. Mémoire de fin d'étude, ENA, Méknès, Maroc.
- Mrabet, N. et K. Rkiek. 1984. Réponse de la canne à sucre aux macro et micro-éléments dans le Loukkous. (In) Anonyme (ed.). Journées Nationales de Fertilisation. DIF, INRA, Rabat, Maroc.
- N'ciri, A. 1988. Compte rendu des essais techniques et catalogue aux Doukkala. Table ronde, ORMVA, El Jadida, Maroc.
- Quemener, J. 1976. Normes d'interprétations des analyses du K. Dossiers K₂O n°2. Station Aspach Le Bas, Alsace, France.
- Ouabou, H. 1987. Etude du comportement de quelques sols marocains sous l'effet d'apports croissants de K dans les essais permanents d'appauvrissement de l'INRA. Mémoire de 3^{ème} cycle, DPV, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.
- Ouakka, M. 1985. Etude de l'influence de la nutrition K sur l'accumulation de sucre chez la betterave sucrière. Mémoire de 3^{ème} cycle, DPV, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.
- Olsen, R. A., G. W. Rhm, F. A. Anderson, and G. A. Peterson. 1981. Crop and soil response to applied P and K in a long term build up/depletion study. (in cooperation with TVA). (In) Anonymous (ed.) Soil Sci. Rep. Dpt. of Agron, College of Agriculture, UNL, Lincoln, NE, USA.
- Parfonry, R. and F. W. Hesse. 1984. Essai de fumure NPK sur la canne à sucre dans les sols sableux du Loukkous. (In) Anonyme (ed.). Journées Nationales de Fertilisation. DIF, INRA, Maroc.
- Reinheuser, H. M. 1976. (ed.). Soil and plant tissue testing in California. Division of Ag. Sci., Univ. of Calif., Bull. n° 1879, UC, Calif., USA.
- Rehm, G. 1982. Understanding K for crop production in Nebraska. Neb Guide G 82-587. Coop. Ext. Serv. IANR, UNL, Neb, USA.
- Rehm, G. 1978. Fertilizing irrigated pastures in Nebraska. Neb Guide G 73-3. Coop. Ext. Serv. IANR, UNL, Neb, USA.

- Ryan, J. and A. T. Saad. (Eds.) 1980. Agricultural education for development in the Middle East.
Amer. Univ. of Beirut. Press, Lebanon.
- Ryan, J., G. Musharafieh, and A. Barsumian. 1980. Soil fertility characterization of the Agricultural Education and Research Center of the American university of Beirut.
A.U.B. Fac. Agri. Bull. n° 65.
- Ryan, J., M. Addelmoumen, and M. El Gharous. 1990. Preliminary assesement of the Soil fertility of the mapped area of Chaouia.
Al Awamia 72 : 85-106., DIF, Rabat, INRA, Maroc.
- Sahyouni, M. and J. Ryan. 1983. Potassium in Labanese soils as reflected by electro-ultra filtration, chemical extraction and cropping.
Iran Agr. Res. vol. 2, 1 : 12-21.
- Schmidt, G., F. W. Hesse, et A. N'ciri. 1969. Observation sur l'influence des engrais NPK sur les rendements et la qualité de la betterave sucrière dans le Tadla.
Al Awamia 32 : 23-48, DIF, INRA, Maroc.
- Schmidt, G. et F. W. Hesse. 1975. Introduction de la betterave à sucre au Maroc.
INRA-Maroc/GTZ, GTZ presse, Francfort, Allemagne.
- Schmidt, G., F. W. Hesse, M. Moughli, et K. Trost. 1981. La culture de la canne à sucre au Maroc.
INRA-Maroc/GTZ, GTZ presse, Francfort, Allemagne.
- Senhaji, R. 1985. La fertilisation de l'olivier à la SODEA. (In) anonyme (ed.). Journées Nationales de Fertilisation. DIF, INRA, Maroc.
- Sheldrick, W. F. 1985. World potassium reserves. (In) Munson et al. (eds.). potassium in agriculture. Soil Sc Soc. of Amer, Madison, WI, USA.
- Shammas, A. T. 1966. Progress on soil fertility trials in Lebanon. 1964-66.
Inst. Agron Res., Lebanon.
- Soltanpour, P. N., A. E. Ludwick, and J.O. Reus. 1979. Guide to fertilizer recommandations in Colorado. Coop. Ext. Ser. CSU. Fort Collins, Colo, USA.
- Spark, D. L., W. C. Lieberhardt. 1981. Effect of long term lime and K applications on Q/I relationship in sandy soils.
Soil Sc. Soc. Amer. J. 5 : 786-790.
- Squalli, A. 1982. Compte rendu des essais de fertilisation de longues durées.
Doc. ronéo, St. Cent. Amel. Culturelles. Rabat, INRA, Maroc.
- Stitou, M. Etude pédagogique de la région de Settât et Ben Ahmed.
Rapport du marché n°46/82/DPA/42. DPA, Settât, Rabat.

Straman, A., P. Quidet, et R. Blanchet. 1978. Dynamique du K dans le sol et alimentation potassique des cultures.
Ann. Agron. n°5, INRA, France.

Tazi, M. 1988. Caractérisation de la fertilité potassique dans les sols du Gharb et de la Chaouia.
Mémoire de 3ème cycle, DSS, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.

Thomman, C. 1952. Contribution à l'étude de la fertilité des sols du Maroc.
Travaux de la section pédologie.
Soc. Sci. Nat. Maroc, 2 : 53-60.

Whitney, D. A. 1976. Soil test interpretations and fertilizer recommendations.
Coop. Ext. Ser. Bull. n° C-905., KSU, Manhattan, KS, USA.

Zeigduy, A. 1984. "Perspective de l'utilisation des engrais au Maroc". Allocution d'ouverture. (In) Anonyme (ed.). Journées Nationales de Fertilisation. DIF, INRA, Rabat, Maroc.

Zerrari, N. 1986. Participation des divers états de K à l'alimentation du maïs dans deux types de sol.
Mémoire de 3ème cycle, DSS, IAV Hassan II. Rabat, Maroc.