

EDITORIAL

Abdellah BAKKALI
Président de l'ANAFID

Mohamed BADRAOUI
Président de l'A.M.S.SOL

Ce numéro, consacré au Congrès "Utilisation Rationnelle des Engrais au Maroc : Aspects Agronomiques, Economiques et Environnementaux.", réserve néanmoins quelques pages à l'événement de la présidence du Maroc de la CIGR pour les années 2001 et 2002.

Ce Congrès a été organisé par l'Association Marocaine des Sciences du Sol (A.M.S.SOL) en collaboration avec l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès. Il constitue le premier

Congrès National des Sciences du Sol. Il s'est tenu à l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès du 18 au 19 Mai 2000.

L'Association Nationale des Améliorations Foncières de l'Irrigation et du Drainage (ANAFID) et l'Association Marocaine des Sciences du Sol, partenaires dans la réalisation de ce numéro spécial de la revue, saisissent cette occasion pour :

- Féliciter Mr. El Houssine BARTALI pour sa nomination en qualité de Président de la Commission Internationale du Génie Rural (CIGR).
- Remercier Mr. Abdellatif DEBBARH, Directeur de l'Ecole Nationale de l'Agriculture de Meknès pour avoir abrité le congrès et assuré sa logistique.
- Remercier Mr. Rachid BOUABID, Secrétaire Général de l'A.M.S.SOL et Président du Comité d'Organisation pour l'effort fourni lors de l'organisation du congrès et de la préparation des actes.
- Remercier tous ceux qui ont participé au congrès en particulier ceux ayant présenté des communications.
- Réitérer leurs remerciements aux autres organismes ayant contribué à l'organisation du Congrès :

- L'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, ainsi que son complexe horticole d'Agadir.
- Le Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement.
- Les Domaines Royaux.
- L'Institut Mondial des Phosphates.
- L'Administration du Génie Rural.
- La Direction des Aménagement Fonciers
- Les Offices Régionaux de Mise en Valeur du Gharb et du Doukkala.
- Le Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat.

Au Maroc, l'utilisation des engrais dans l'amélioration de la productivité des terres et le maintien de leur niveau de fertilité est devenue une pratique courante chez la plupart des agriculteurs. Cette pratique a engendré

une consommation de plus en plus importante qui, malgré la libération du marché et l'augmentation des prix depuis le début des années 90, est restée stable, aux environs de 800.000 tonnes/an.

Néanmoins, si la majorité des agriculteurs est sensibilisée à l'apport des engrais minéraux, la pratique de la fertilisation des cultures ne se fait pas encore de manière rationnelle. En effet, à l'exception de quelques cas particuliers, la plupart des agriculteurs ne se base pas sur les analyses des sols pour l'évaluation de la fertilité de leurs terres en vue de raisonner la nature et les quantités des engrais à apporter.

Par ailleurs, de nombreuses recherches en matière de fertilité des sols, de fertilisation des cultures et d'établissement des normes d'interprétation des analyses des sols et des plantes ont été réalisées. Cependant, ces recherches restent encore insuffisantes et méritent d'être intensifiées pour répondre aux spécificités des cultures dans leur contexte régional ou local.

La rationalisation de l'utilisation des engrais est primordiale pour trois raisons principales : **l'amélioration de la productivité, la rentabilité économique et la protection de l'environnement.** L'agriculteur averti devrait apporter les quantités d'engrais nécessaires permettant de réaliser le maximum de bénéfice tout en préservant la qualité des ressources sol et eau.

C'est dans cette expectative que l'A.M.S.SOL a relancé le débat sur ce sujet à travers l'organisation de ce congrès dont les principaux objectifs sont :

- Faire le constat sur la situation actuelle concernant la formulation, la commercialisation et la consommation des engrais au Maroc ;
- Dégager les principaux résultats de recherches en matière de fertilité des sols et fertilisation des cultures au Maroc ;
- Définir les bases du raisonnement d'une fertilisation économique et préservatrice de l'environnement ;
- Lancer la réflexion sur une stratégie nationale en matière d'utilisation rationnelle des engrais.



LE MAROC ASSURE LA PRESIDENCE DE LA COMMISSION INTERNATIONALE DU GENIE RURAL (CIGR) POUR DEUX ANS A COMPTER DE JANVIER 2001.

BARTALI H.¹

Le Maroc qui est représenté au sein de la CIGR par son comité national : l'ANAFID, Association Nationale des Améliorations Foncières, de l'Irrigation et du Drainage vient de prendre en charge la Présidence de la Commission Internationale du Génie Rural pour une période de deux ans à compter du premier janvier 2001. C'est **Dr. El Houssine BARTALI**, Professeur et Chef de Département du Génie Rural à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et membre du Bureau de l'ANAFID qui a été élu Président de la CIGR. Pr. BARTALI succède dans ce poste à l'américain B. STOUT, de l'Université du Texas qui a été Président de la CIGR de 1998 à 2000. La cérémonie de passation des consignes a eu lieu au Japon qui vient d'organiser le XIV^{ème} congrès mondial du génie rural.

Rappelons que notre pays qui a fait du développement rural une de ses priorités nationales accorde un grand intérêt aux activités de la commission internationale du génie rural au sein de laquelle il compte parmi les pays membres les plus actifs. C'est ainsi qu'il avait eu l'honneur d'abriter le précédent congrès mondial du génie rural. L'ANAFID avait en effet organisé sous le Haut Patronage de Sa Majesté Hassan II, le XIII^{ème} congrès international de la CIGR en février 1998 à Rabat. Ce congrès qui a été le premier de son genre à se tenir dans un pays en voie de développement a connu un grand succès et avait fait l'objet d'une couverture médiatique digne de son importance.

Le dernier congrès international du génie rural qui s'est tenu au Japon s'est déroulé du 28 décembre 2000 au 4

janvier 2001 à l'Université de la ville de Tsukuba, nommée cité de la Science au Japon. Le Pr. BARTALI, Président de cette prestigieuse Université s'est vu décerner le Prix Nobel de chimie il y a quelques années. Le récent congrès de la CIGR a été une importante manifestation scientifique et technique placée sous les auspices de la plus haute instance scientifique du Japon : le Conseil National Japonais de la Science dont le Président qui a prononcé une allocution de bienvenue à l'ouverture du congrès est aussi à la tête du Conseil International pour la Science. Ce premier congrès de la CIGR à se tenir en Asie a été organisé sur initiative du Comité National Japonais de la CIGR pour commémorer le 70^{ème} anniversaire de cette commission. Plus de 400 participants représentant une quarantaine de pays et la FAO ont suivi les travaux de ce congrès dont la séance d'ouverture a été marquée par le message adressé par Le Premier Ministre Japonais aux participants.

Près de 300 communications orales et en poster ont été présentées lors de ce congrès dans la séance inaugurale a été présidée par Pr. BARTALI et a été consacrée à la présentation faite par Mr. Clarke, chef de la Branche du génie rural à la FAO à Rome et qui avait pour thème : « l'Accroissement de la production alimentaire et la protection des ressources : le rôle des ingénieurs du génie rural ».

Parmi les autres thèmes traités lors de ce congrès figurent notamment : (i) les perspectives du 21^{ème} siècle dans le domaine des technologies de l'information, (ii) l'agriculture irriguée et les voies d'amélioration de la production de riz en champs à travers une gestion rationnelle de l'eau et une meilleure protection de l'environnement (iii) Contrôle des conditions d'ambiance dans les bâtiments d'élevage, gestion des effluents et optimisation des installations, (iv) Maîtrise des systèmes de productions sous serre à travers une conception et une gestion assistées par ordinateur,



L' ex-Président de la CIGR B. Stout et le nouveau Président El Houssine BARTALI.

¹ Président de la CIGR 2001-2002

LES ENGAGEMENTS DE LA CIGR ENVERS L'AGRICULTURE MONDIALE

El Houssine Bartali¹

Ces dernières années, de grands efforts ont été faits pour développer les activités de la CIGR, et en même temps pour rationaliser le travail dans les sièges successifs du secrétariat général. Je voudrais remercier ici tous les présidents antérieurs de la CIGR pour l'excellent travail et les contributions qu'ils ont apportés au cours de leurs mandats respectifs, c'est-à-dire ceux qui ont fait de la CIGR l'organisation mondiale qu'elle est aujourd'hui : le prof. Stout, ainsi que notre ancien Secrétaire général, le prof. Daelemans, et le Secrétaire général actuel, le prof. Schulze Lammers.

LES TACHES QUI NOUS ATTENDENT

La CIGR doit s'occuper de la question vitale pour le monde de la sécurité alimentaire. Je sais que nous avons de nombreux défis à relever. L'agriculture mondiale connaît un certain nombre de difficultés, en particulier dans les pays en développement. Parmi les défis qui nous sont posés figurent : lutter contre la sécheresse, les inondations, la salinité, la désertification ; assurer la protection de l'environnement, le maintien de la biodiversité et la gestion des ressources ; réduire le coût des pertes de post-récolte et améliorer la transformation alimentaire pour augmenter la plus-value des produits agricoles. La CIGR a donc potentiellement une contribution importante à apporter sur les questions de développement rural et agricole. Dans cette perspective, je crois que tous les membres de la CIGR doivent apporter leur pierre.

CIGR – SECTIONS TECHNIQUES

Les résultats de la CIGR s'évaluent principalement au travers des travaux

de ses sections techniques et de ses groupes de travail. Permettez-moi de remercier leur présidents respectifs pour leur engagement constant et désintéressé dans les travaux de la Commission. Le président de la CIGR, prof. Stout a insisté pour que chaque section ait une lettre de mission et un programme d'activités. Je demande instamment la collaboration de tous pour améliorer le travail dans les années à venir.

La CIGR vient de créer une nouvelle section technique à sa structure. Ainsi, elle pourra couvrir de façon satisfaisante le thème des systèmes informatisés et les utiliser pour améliorer la production et la transformation des produits agricoles.

CALENDRIER DES ACTIVITES

Les deux prochaines années sont très importantes pour la CIGR avec Xvème congrès international conjoint de la CIGR et de l'ASAE qui se tiendra en juillet 2002, à Chicago, USA. Les autres rencontres importantes sont la conférence internationale 2004 de l'ingénierie agricole au China et le XVIème congrès international de la CIGR à Bonn, Allemagne, en 2006. Les associations régionales de la CIGR tiendront leurs rencontres annuelles ou bisannuelles. Par l'intermédiaire de ses sections techniques, la CIGR organisera ou co-parrainera des séminaires et groupes de travail sur différents aspects de l'ingénierie agricole.

Je suis persuadé que tous les comités nationaux et associations régionales, sections techniques et groupes de travail de la CIGR sont en train de préparer ces rencontres avec des articles et des interventions pour les diverses sessions et rencontres qui sont prévues.

DEVELOPPEMENT DES ACTIVITES DE LA CIGR

Nous ne pouvons pas nier que la CIGR a obtenu des résultats positifs au niveau mondial, mais il demeure des écarts entre les pays développés et les pays en développement. Nous devons travailler à réduire ces écarts dans l'intérêt mutuel et commun. C'est là que la CIGR, grâce à sa structure actuelle plus représentative et plus rationnelle est bien placée pour faire avancer ces thèmes et promouvoir la coopération internationale pour aborder les défis du 21^{ème} siècle.

Le forum conjoint CIGR-FAO renforce les liens existants avec la FAO et ouvre des possibilités de collaboration plus étroite pour l'avenir. Nous faisons des efforts pour améliorer le site Internet de la CIGR. Je vous recommande de le consulter encore plus souvent sur www.ucd.ie/cigr/.

La revue électronique de la CIGR est une revue sur la recherche scientifique et le développement. L'adresse est www.agen.tamu.edu/cigr/. Cette initiative lancée en 1999 par la CIGR doit se développer. La CIGR sera heureuse de recevoir des contributions individuelles ou de la part des associations nationales.

Le Bulletin et le Newsletter de la CIGR, publiés en Français et en Anglais diffusent et font partager les informations et les expériences d'intérêt général. J'invite instamment les membres de la CIGR à nous communiquer des informations ou des points de vue.

Le Manuel de la CIGR est un outil important pour les institutions de formations et de recherche, notamment dans les pays en développement. La CIGR remercie toutes les personnes et les organismes qui ont offert des exemplaires du Manuel à des bibliothèques dans les pays en

¹ Président de la CIGR 2001-2002

développement. Nous envisageons une deuxième édition. La CIGR prend en compte les besoins des usagers de la profession et des services de développement.

La CIGR souhaite une meilleure diffusion de ses activités dans des régions plus étendues du monde et s'efforce de contacter de nouvelles associations nationales ou régionales. Au cours des deux dernières années, neuf nouvelles associations nationales ont adhéré à la CIGR. Il s'agit de l'Australie, le Bangladesh, le Canada, la République Tchèque, l'Iran, la Corée, le Mexique, les Philippines et la Turquie. Nous avons aussi une nouvelle association régionale, l'Association régionale Eurasiennne d'ingénierie agricole. La CIGR accueille ces nouveaux membres et attend beaucoup d'eux. Cependant nous devons encore encourager les pays de l'Afrique francophone et les pays arabes à nous rejoindre dans la Commission. Afin de sensibiliser ces pays en vue d'une adhésion, la CIGR va étudier la possibilité de traduire le Manuel de la CIGR en Français, le Bulletin en Arabe et les différents dépliants de la CIGR dans ces deux langues.. Pour ce faire nous solliciterons le soutien du comité national français de la CIGR, l'agence universitaire de la francophonie et l'organisation arabe de développement agricole.

QUELQUES ORIENTATIONS POUR L'AVENIR

Assurer la sécurité alimentaire de tous en améliorant la productivité est un objectif majeur de la communauté mondiale dans les 20 prochaines années et au-delà. Il existe un besoin urgent de fournir la nourriture pour une population qui aura augmenté de 3 milliards d'individus en 2050. La tâche principale sera de combler l'écart qui existe aujourd'hui entre les rendements potentiels et les rendements réels. Il faudra aussi donner une priorité à l'étude et aux applications des technologies en faveur des écosystèmes et des cultures défavorisés. Il est impératif d'assurer la durabilité de l'agriculture et de prendre des mesures pour que les agriculteurs

adoptent plus facilement les nouvelles technologies.

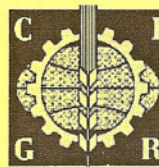
La CIGR maintiendra son attention sur ces questions et continuera de les traiter dans une optique dynamique, comme par le passé. Compte tenu de ses ressources limitées, elle doit impérativement adopter une approche sélective et recherche des partenariats stratégiques. Cela est illustré par les récents efforts pour réaliser les publications électroniques de la CIGR, une nouvelle édition du Manuel, des forums en ligne, la nouvelle section technique sur les technologies de l'information, et les groupes de travail. La CIGR devra aussi renforcer ses relations internationales et développer la participation des industries et des entreprises à ces activités. La qualité du travail des sections techniques et des groupes de travail demeure notre principal atout pour atteindre nos objectifs, atteindre un niveau optimal dans le domaine des sciences et des technologies.

La CIGR doit donc viser plusieurs cibles pour remplir sa mission de service envers ses membres. J'exprime à nouveau mes remerciements à tous les membres de la Commission qui fournissent un excellent travail et un appui constant. Ce n'est qu'en poursuivant ces efforts que nous améliorerons encore l'efficacité de nos activités. Nous entamons un travail très productif avec notre Secrétaire général, le prof. Schulze Lammers et son équipe à Bonn et avec les membres du Présidium les prof. Stout et. Munack. Je remercie aussi le prof. Kitani de son soutien permanent après la fin de son mandat d'ancien président. Je renouvelle mes remerciements sincères au ministère allemand de l'agriculture pour l'aide qu'il continue d'apporter au Secrétariat général de la CIGR à Bonn. Nous allons continuer à travailler ensemble dans la poursuite de notre mission mondiale et nous allons préparer le prochain congrès conjoint CIGR – ASAE en 2002 aux Etats-Unis.



ANAFID

Comité National
Marocain de la
CIGR



COMMISSION
INTERNATIONALE
DU GENIE RURAL
(CIGR)

Fondée en 1930
60 Pays membres

Maroc : membre depuis 1968,
représenté par
le Comité National Marocain de la
CIGR : ANAFID

Président : Pr. H. BARTALI (Maroc)

Président entrant : Pr. A. MUNACK
(Allemagne)

Président sortant : Pr. B. STOUT
(USA)

Secrétaire général : Pr. P. SCHULZE
LAMMERS (Allemagne)

SECTIONS TECHNIQUES

Section I : Sciences de l'eau et du sol
(Pr. L.S. Pereira Portugal)

Section II : Construction,
équipements et environnement
(Pr. J. Voermans Pays Bas)

Section III : Equipements pour les
productions végétales
(Pr. E. Bourarach Maroc)

Section IV : Electrification rurale et
autres sources d'énergie
(Pr. A. Ramdani Maroc)

Section V : Gestion, ergonomie et
génie des systèmes
(Pr. T. Luoma Finlande)

Section VI : Technologie post-récolte
et génie des procédés
(Pr. Mme. Ruiz- Altisent Espagne)

Section VII : Systèmes et
technologies d'information
(Pr. N. Sigrimis Grèce)

RECENTS ET FUTURS CONGRES

Italie (1989), Maroc (1998), Japon
(2000), USA (2002), Allemagne
(2006)

Adresses :

Présidence de la CIGR :
Département de Génie Rural
IAV Hassan II

B.P : 6202, Rabat Instituts. Maroc
hbartali@acdum.net.ma
Tel : 212 37 77 13 20
Fax : 212 37 67 03 03

SECTEUR DES ENGRAIS ; PRESENTATION ET PERSPECTIVE

HAMMOUTOU M. ¹

Les engrais constituent l'un des facteurs clés de toute intensification de la mise en valeur agricole. Toutefois, le niveau actuel d'utilisation des engrais au niveau national, qui plafonne actuellement aux environs de 700.000 Tonnes, ne représente que 28% des besoins réels estimés à 2,5 millions de tonnes.

Comparée à d'autres pays, la consommation à l'hectare au Maroc, évaluée à près de 45 Unités Fertilisantes, ne représente que 45% ; 25% et 14% de celle observée respectivement en Espagne, Italie et France.

De plus, le niveau de consommation des engrais phosphatés marque au cours de la dernière décennie une tendance à la baisse estimée à 2,2 % par an, ce qui a entraîné un appauvrissement de la plupart des sols en cet élément.

Cette situation, qui risque de compromettre sérieusement les efforts visant la modernisation du secteur agricole et la réalisation des objectifs qui lui sont assignés en matière de sécurité alimentaire et de promotion des exportations de produits agricoles, est liée en particulier aux risques de plus en plus importants suite à l'accroissement du rythme des aléas climatiques au cours des dernières années d'une part, et au renchérissement du prix de ces produits, d'autres parts.

Conscient de cette situation, l'Etat entreprend plusieurs actions visant la relance de ce secteur. Ainsi, en matière de commerce de ces produits, l'Etat œuvre à la mise en place d'un marché concurrentiel dans le secteur, à travers sa dérégulation totale depuis 1990. A ce titre, les opérations d'importation et d'approvisionnement en produits de fabrication locale, qui étaient assurées pour le compte des autres industriels par FERTIMA, sont actuellement

effectuées librement par tout opérateur dans le secteur.

Parallèlement à cette dérégulation, l'Etat a instauré un système de suivi du marché des engrais. Ce système, qui est coordonné par le Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes, repose sur la concertation permanente avec la profession et l'OCP d'une part, et sur les éléments d'appréciation concernant la situation de l'approvisionnement du pays en engrais fournis régulièrement par les services extérieurs du Ministère de l'Agriculture, d'autre part.

Par ailleurs, l'Etat encourage l'utilisation rationnelle des fertilisants, à travers les aides octroyées aux analyses de sol, à hauteur de 50%, dans le cadre du Fonds de Développement Agricole et la mise en œuvre de projets pilotes en matière de formulation d'engrais basée sur les besoins réels des cultures pratiquées.

En plus, et parallèlement à la réglementation en vigueur en matière de commerce des engrais et amendements, il a été procédé à l'élaboration de normes marocaines pour l'ensemble des matières fertilisantes.

Compte tenu de ce qui précède et dans l'objectif de développer le secteur des engrais, notamment en matière de :

- ✎ Rationalisation et relance de l'utilisation des engrais ;
- ✎ Garantie de la qualité des engrais distribués ;
- ✎ Approvisionnement normal et régulier du marché national en divers formules d'engrais ;

Il s'avère nécessaire et incontournable de procéder à l'organisation de la profession des engrais et à la mise au point de nouvelles formules moins coûteuses et plus adaptées pour une meilleure utilisation des engrais.

1- PRESENTATION DU SECTEUR

1.1- Aperçu historique

Avant 1974, le secteur des engrais, qui était totalement libre, se caractérisait par des pénuries fréquentes dues aux irrégularités d'approvisionnement. Pour faire face à cette situation, les pouvoirs publics ont chargé Fertima, filiale de l'OCP, créée en 1972, d'assurer l'approvisionnement du pays en engrais.

A ce titre, elle a été chargée d'importer, aussi bien pour son compte que pour celui des autres sociétés de distribution, les engrais qui ne sont pas produits localement et d'harmoniser, sur le plan interne, les programmes de production et de distribution des engrais fabriqués par l'OCP. En outre, Fertima a été désignée comme interlocuteur unique de la Caisse de Compensation en matière de subvention des engrais. En effet, le montant de la subvention accordée aux engrais a enregistré des hausses successives jusqu'à 1985 pour atteindre environ 420 Millions de dirhams. Depuis cette date il y a eu une réduction progressive de la subvention des engrais pour s'annuler en 1990. Le 1^{er} juillet 1990, les pouvoirs publics ont décidé de libéraliser totalement le secteur des engrais en décompensant ces produits tout en confiant au Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes la tâche de suivi et d'évaluation de l'approvisionnement du pays en engrais. Dans ce cadre, la Direction de la Production Végétale assure cette mission à travers :

- L'établissement, en concertation avec la profession, des programmes indicatifs d'approvisionnement pour les engrais d'importation et de fabrication locale;

¹ Direction de la Production Végétale Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts

- Le suivi de l'approvisionnement du pays en engrais à travers des réunions périodiques de concertation avec la profession et l'OCP, et ce en présence des ministères et organismes concernés (Ministère de l'Incitation de l'Economie, Ministère de l'Intérieur et ONCF) d'une part, et des éléments d'information sur la situation de l'approvisionnement du marché des engrais, fournis régulièrement par les services extérieurs du Département de l'Agriculture, d'autre part.

La production nationale concerne :

- Les engrais complexes et phosphatés produits par le groupe OCP (14-28-14, ASP, DAP, MAP et TSP 45 %);
- Le super phosphate (18 % P205) produit par la Société Chérifienne des Engrais (SCE).

D'autres formules sont produites par les sociétés distributrices en recourant au mélange d'engrais importés ou fabriqués localement.

Quant aux importations, elles concernent les produits azotés (urée, sulfate d'ammoniaque et ammonitrate) et les produits potassiques (sulfate de potasse et chlorure de potasse).

1.2- DISTRIBUTION

1.2.1- Intervenants

La distribution des engrais au Maroc est assurée par:

- Deux sociétés de grande taille, à savoir Fertima et Hydro Agri Trade (HAT); celles-ci participent à hauteur de 80% dans l'approvisionnement du pays en engrais; soit respectivement 60% et 20%.

- Deux sociétés de taille moyenne (PROMAGRI et ETS YACOUBI) qui commercialisent chacune environ 40.000 T d'engrais par campagne;

- Trois sociétés de petite taille (PROCESS, CPCM et SCPC) dont les ventes ne dépassent pas 20.000T.

Au cours des dernières années, il est observé l'avènement, avec des volumes très limités, de nouvelles sociétés de distribution des engrais (CAMID, SPECIFERTIL, CHARAF, OULED SBITA et TOUTAGRI).

Six sociétés d'engrais, en l'occurrence HAT, PROMAGRI, ETABLISSEMENT YACCOUBI, CPCM,

PROCESS, SCPC sont groupées au sein de l'Association Professionnelle des Sociétés Privées d'Importateurs, de Fabricants, de Formulateurs d'Engrais (ASMADE). La société Fertima intègre cette association depuis 1997.

1.2.2- Circuits de distribution

La distribution des engrais est effectuée à travers trois principaux circuits à savoir :

- Le circuit des revendeurs privés qui représente 70% des ventes totales;
- La vente directe à partir des usines et dépôts des sociétés de distribution représentant 24 % des ventes totales;
- Les points de vente Fertima localisés au niveau des CMV/CDA et CT qui commercialisent 6% des ventes totales.

Ces derniers points de vente, au nombre de 165 bien qu'ils permettent l'approvisionnement des zones lointaines d'une part, et la régulation des prix au niveau local d'autre part, soulèvent certains problèmes liés aux aspects suivants :

- Le gardiennage au niveau des C.T à cause du manque de personnel au niveau des DPA concernées;

- Le paiement des prestations exigé par certains ORMVA au titre de services fournis à Fertima pour la mise à sa disposition des locaux et des techniciens responsables de ces points de vente, et ce conformément au barème des prestations de service rendus aux tiers par l'ORMVA instauré en 1990.

Il est à signaler que ces points de vente sont fermés au fur et à mesure de l'installation de revendeurs privés.

2- CONSOMMATION DES ENGRAIS

L'évolution de la consommation des engrais au cours des deux dernières décennies, telle qu'illustrée par le graphique ci-dessous, met en exergue :

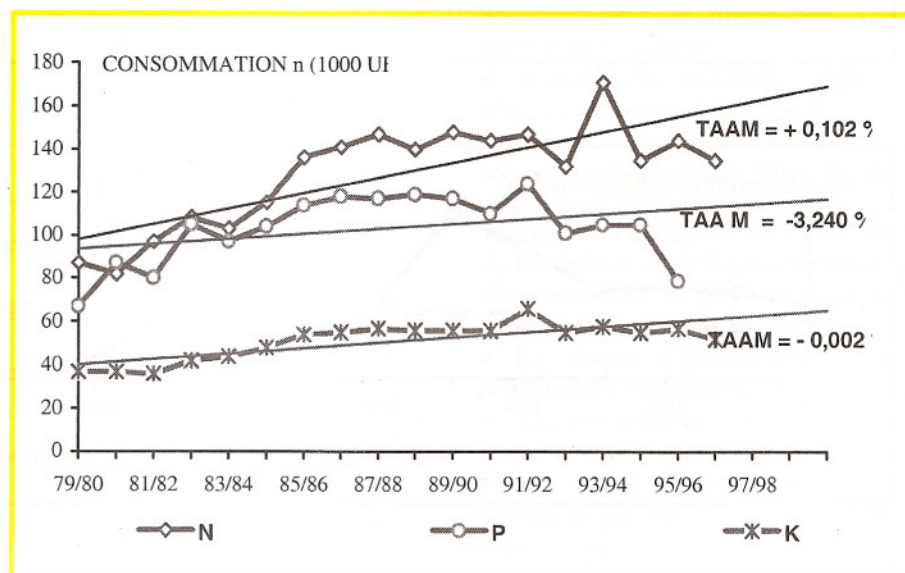
- Une tendance à la croissance de cette consommation au cours de la première décennie jusqu'à 1993/94 à un rythme moyen annuel de l'ordre de 2,5% pour atteindre 770.000 Tonnes (soit l'équivalent de 330.000 Tonnes d'Unités Fertilisantes) ;

- Une baisse au cours des dix dernières années, estimée à 4 % par an. Ce recul concerne particulièrement les engrais de fonds.

Cette tendance s'explique par les risques climatiques de plus en plus élevés qu'affrontent les agriculteurs et qui s'orientent vers la réduction du niveau (TAAM : Taux d'accroissement annuel moyen) des investissements des intrants notamment en début de campagne et les hausses successives des prix des engrais.

L'évolution récente de la consommation des engrais est inquiétante dans la mesure où les besoins théoriques estimés à 1.2 Millions d'Unités Fertilisantes sont loin d'être satisfaits.

Cette situation ayant coïncidé avec l'extension de la superficie cultivée engendre une baisse notable de la consommation à l'hectare qui ne dépasse pas actuellement 45 Unités Fertilisantes (UF). Comparé aux consommations dans les pays Nord



Méditerranéens tels que l'Espagne, l'Italie, et la France, ce volume n'en représente respectivement que 45 %, 25 % et 14 %.

Par ailleurs, la répartition de la consommation des engrais selon les cultures montre qu'environ 32% des engrais sont utilisés par les agrumes, les cultures sucrières et les cultures maraîchères qui n'occupent que 5% de la superficie cultivée et qui sont pratiquées essentiellement en irrigué. Quant aux cultures céréalières qui occupent 76% des superficies cultivées, elles ne mobilisent qu'environ 43% des tonnages globaux, comme l'illustre le graphique ci-après :

De plus, l'analyse de la consommation des engrais selon les zones agricoles montre qu'environ 58% des tonnages sont utilisés au niveau des zones irriguées contre 42% en bour.

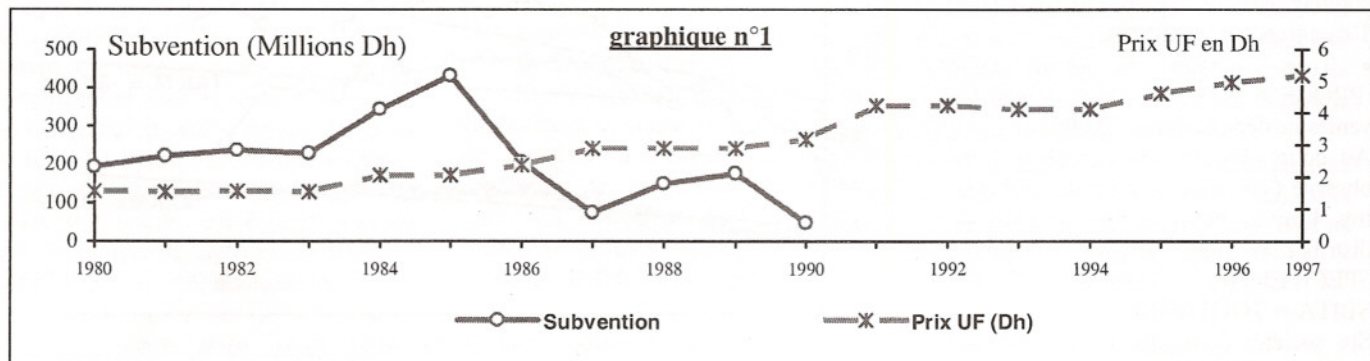
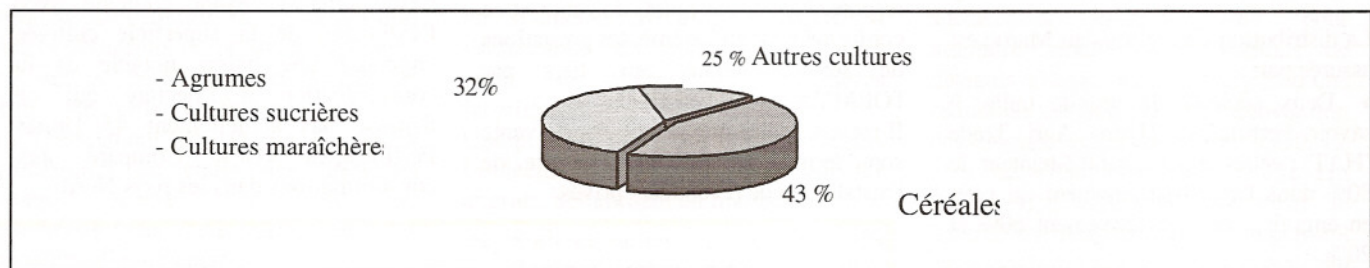
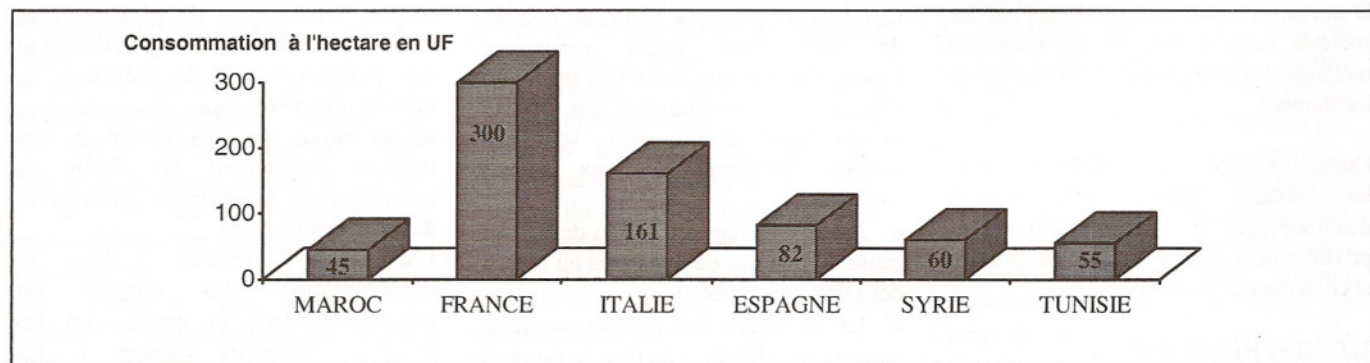
Concernant les formules utilisées, il y a lieu de souligner la prédominance des formules classiques telle que le 14-28-14.

de 3,2 Dh/Kg UF en 1990 à 4,6 Dh/Kg UF en 1997. A titre indicatif, le prix pratiqué au Maroc pour le DAP (18-46-0) est de 260 Dh/Ql, niveau comparable à celui de l'Espagne, pays non producteur de phosphates (source : FAO) et supérieur de 60 DH/Ql comparativement au prix à l'export (source : Magasine Fertiliser Week).

L'examen de l'évolution des prix des engrais met en évidence des hausses successives, et ce parallèlement à la réduction progressive de la subvention des engrais qui n'a cessé de régresser pour s'annuler en 1991 comme le montre le graphique n°1.

3- PRIX DES ENGRAIS

Les prix des engrais ont connu au cours des dernières années une tendance à l'augmentation. Exprimés en DH par Unité Fertilisante (UF), ils sont passés



Cette évolution est liée à celle observée sur le marché international comme le montre le graphique n°2.

Le prix de l'urée au cours des deux dernières campagnes agricoles a connu des baisses successives expliquées par le recul du prix international de ce produit d'une part et les importations sporadiques effectuées par certains opérateurs d'autre part. Le prix du 14-28-14, quant à lui, a été révisé à la hausse depuis 1990 comme le montre le graphique n°3

4- ORGANISATION PROFESSIONNELLE

Les membres de la profession ne cessent de soulever le problème de l'intervention de certains opérateurs n'ayant aucune structure commerciale (moyens de stockage, réseau de commercialisation, etc...) et qui tirent profit de certaines situations particulières dans le marché international pour effectuer des importations sporadiques.

Cette situation risque de perturber, à moyen et long terme, l'approvisionnement normal et régulier du pays en raison de la nature ponctuelle des importations qui interfère avec les programmes d'approvisionnement des sociétés structurées et perturbe énormément leurs stratégies d'approvisionnement et de stockage.

Concernant les engrais fabriqués par les unités de l'Office Chérien des Phosphates, une multitude d'opérateurs de petite taille (généralement des ex-revendeurs) commencent à s'adresser à cet Office pour s'approvisionner directement en engrais de fabrication locale. Or, ce dernier estime qu'il n'est pas en mesure de traiter avec des commerçants de petite taille pour des raisons de logistique, d'organisation des ventes au niveau de ses usines,.... A cela s'ajouterait le fait que la multiplicité des intervenants dans le circuit de distribution des engrais pourrait rendre difficile le suivi du marché sur les plans quantitatif et qualitatif.

Certes, le renforcement du contrôle de la

qualité au niveau des ports et des points de vente est de nature à juguler une part des problèmes de qualité. Toutefois, cette situation risque de perturber, à moyen et long terme, l'approvisionnement normal et régulier du pays en raison de :

- La nature sporadique des importations qui interfère avec les programmes d'approvisionnement des sociétés structurées d'autant plus que les opérateurs concernés effectuent ces importations sans pour autant être soumis à les déclarer pour permettre le suivi de l'approvisionnement du pays. Cette situation perturbe énormément les stratégies d'approvisionnement et de stockage des sociétés structurées.

- Les prix de vente pratiqués qui sont parfois très réduits du fait de l'absence des charges de structure engagées par les sociétés organisées.

Pour faire face à cette situation qui est de nature à remettre en cause la sécurité de l'approvisionnement du pays en engrais, et en tenant compte de l'expérience vécue au cours des années de libéralisation du secteur des engrais, et sans remettre en cause ses principes de base, il est proposé, à l'instar des autres secteurs d'intrants (semences, produits phytosanitaires), d'organiser l'exercice des activités liées aux engrais et d'arrêter les conditions d'intégration de nouveaux opérateurs dans le secteur.

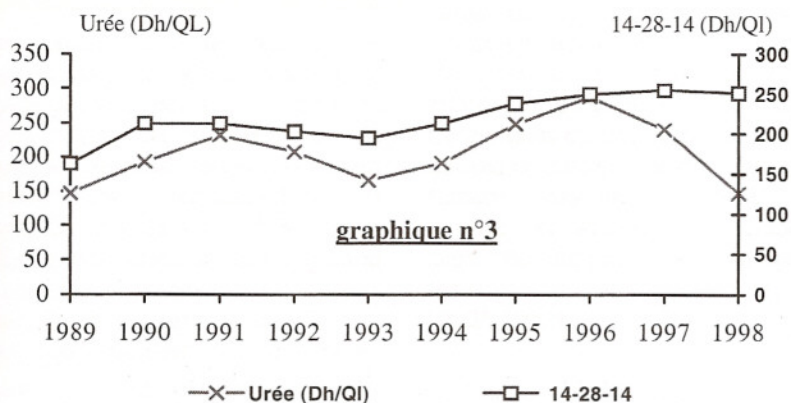
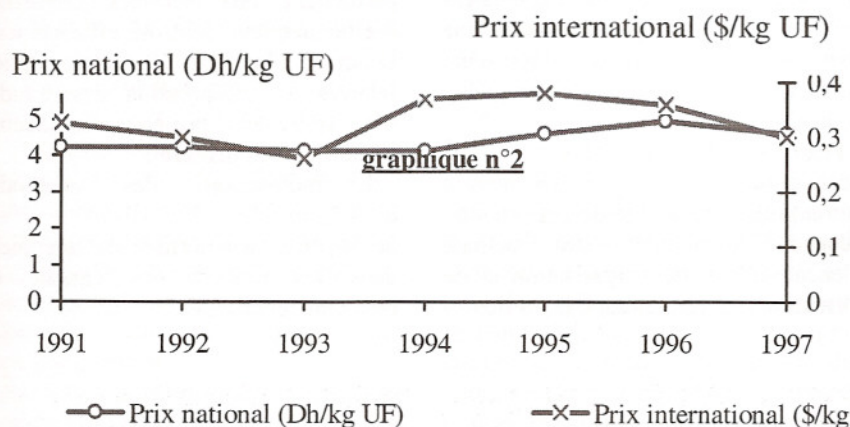
Les principaux objectifs visés à travers cette organisation sont les suivants:

- Assurer la qualité des engrais distribués en lui associant un service de conseil en fertilisation;
- Disposer d'interlocuteurs fiables pouvant contribuer efficacement à la promotion du secteur;
- Assurer une meilleure visibilité pour les opérateurs dans ce secteur.

Un projet de loi a été élaboré dans ce sens et a été soumis à l'ensemble des directions et départements concernés.

Toutefois, le Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat a émis des réserves sur ce projet en évoquant les arguments suivants :

- Le risque d'alourdissement des procédures d'importation ;
- La contradiction du principe de l'agrément avec la libéralisation ;
- Le risque d'augmentation des charges et par conséquent des prix de



vente, lié à l'emploi d'un ingénieur agronome ou diplôme équivalent.

A ce titre, une commission composée de la profession, des directions et départements concernés a été désignée pour l'examen approfondi du projet de loi et la proposition de mesures concrètes pour l'organisation du secteur des engrais.

Certaines alternatives telles que la mise en place obligatoire d'un stock de sécurité auprès des opérateurs et l'application obligatoire de certaines normes des engrais sont en cours d'examen par ladite commission.

5. CONTRAINTES DU SECTEUR

Les mécanismes de concertation et de suivi du secteur des engrais, conjugués aux efforts déployés par l'ensemble de ses opérateurs, ont permis d'assurer un approvisionnement généralement normal du pays en engrais. Néanmoins, le diagnostic de la situation actuelle du secteur en question, montre que les niveaux d'utilisation réalisés sont très modestes et ne valorisent que partiellement les potentialités existantes en la matière, ce qui a permis de dégager les principales contraintes entravant son développement. En plus de la contrainte "Organisation professionnelle" mentionnée dans le paragraphe 4, on relève les contraintes suivantes :

- Utilisation des engrais

Le niveau actuel d'utilisation des engrais ne dépasse guère 28% des besoins réels

estimés à 2,5 millions de tonnes. Ceci est lié, principalement, aux conditions climatiques et les problèmes de trésorerie des agriculteurs engendrés par la succession des années de sécheresse, à l'exiguïté prononcée des exploitations, au morcellement et au mode de faire valoir.

- Prix des engrais

Bien que le Maroc est considéré comme le premier producteur et le deuxième exportateur des phosphates à l'échelle mondiale, le prix des engrais phosphatés pratiqués au niveau du marché national est trop élevé. Cette situation est expliquée par le fait que les prix des matières premières importées (soufre, ammoniac, potasse) dépendent directement de leurs cours au niveau international et du taux de change. A ce titre, la seule matière première dont le coût dépend du cours national est le phosphate.

Quant aux engrais importés, les taxes à l'importation concernent les engrais (2.75%, soit l'équivalent de 30 Dh/T) et les doublures de sacs (35% de droits de douane et 15% de PFI, soit l'équivalent de 60 Dh/T). Ce qui représente une charge supplémentaire qui se répercute directement sur le prix de vente public du produit.

- Transfert de technologies

Sachant que l'optimisation des apports des engrais et la qualité de ces produits dépend directement des actions d'encadrement, de vulgarisation et de formation des agriculteurs, il y a lieu

de noter l'existence d'un certain nombre de contraintes dont on peut citer :

- L'insuffisance des moyens alloués pour la recherche dans ce secteur ;
- L'absence de coordination entre les différentes institutions de la recherche dans ce domaine ;
- Le manque de concertation entre la profession et la recherche en vue d'une meilleure participation aux efforts de la recherche ;

- Réglementation du secteur des engrais

Le secteur des engrais, est régié actuellement par une réglementation liée à la répression des fraudes et qui consiste en deux arrêtés viziriel datant de 1942.

Cette situation engendre, parfois, certains problèmes tant au niveau des opérateurs en créant un contexte de concurrence déloyale, qu'au niveau des utilisateurs qui peuvent s'acquérir des produits de mauvaise qualité, en l'absence d'une réglementation permettant aux services concernés d'effectuer leur contrôle efficacement. D'autant plus que la réglementation relative à la répression des fraudes dans ce secteur présente des lacunes notamment en matière :

- d'harmonisation des méthodes d'analyse
- de fixation des normes de tolérances dans les teneurs des engrais en éléments fertilisants.

GESTION DES ENGRAIS ET PRODUCTION AGRICOLE. L'EXPERIENCE DES DOMAINES AGRICOLES

Aït Houssa A¹, Ouknider M¹, Safine M²

RESUME

On présente le modèle des Domaines Agricoles en matière de gestion des engrais. Pour la partie approvisionnement du modèle, elle est élaborée autour de l'idée sur la nécessité de sécuriser l'entreprise contre un double risque caractéristique dans le contexte marocain: le risque que la commande ne soit pas honorée et le risque que l'évolution du climat modifie le cours de cette commande.

Les mécanismes de sécurisation mis en jeu par le modèle font appel à un système de commande ferme avec enlèvement tôt dans la campagne, doublé d'un système de régulation interne en cas de défaillance du fournisseur et de pénurie sur le marché.

Pour la partie agronomique du modèle, elle est élaborée autour de la double notion de fumure d'entretien et de fumure de redressement avec comme objectif principal la recherche d'une haute productivité, d'une bonne qualité, d'un coût optimal et d'une incidence minimale sur la qualité de l'environnement.

Mots clés additionnels : Engrais, gestion, marché, climat.

INTRODUCTION

Aux Domaines agricoles, les sommes mises en jeu pour couvrir le besoin en engrais sont importantes. Selon la culture, c'est la deuxième ou la troisième dépense après la main d'œuvre, les phytosanitaires ou l'irrigation [Aït Houssa, 1999]. Mais l'intérêt accru porté à la bonne gestion de cet intrant remonte surtout aux années 90, date à partir de laquelle sont venus se succéder de nombreux

événements qui n'étaient pas pris en compte avant (ou en tout cas pas directement), en matière de gestion des engrais, si bien que l'approche agronomique même, s'en était trouvée plusieurs fois réajustée en l'espace d'une décennie afin de tenir compte de ces événements :

- Décision de l'Etat de supprimer la subvention accordée à l'Agriculture sur les engrais;
- Baisse des prix des produits agricoles;
- Augmentation substantielle des prix de certains engrais sur le marché international;
- Libéralisation du marché des engrais au Maroc;
- Naissance et ancrage rapide du concept de la qualité des produits agricoles, notamment ceux destinés à l'export;
- Naissance et développement d'une nouvelle vision à l'égard de l'environnement.

Jusqu'à une date assez récente, un excès d'engrais au sol était perçu aux Domaines Agricoles plutôt comme une façon de protéger la fertilité et de sécuriser la productivité. Aujourd'hui, avec les difficultés économiques du secteur agricole, le souci de notre entreprise en matière de gestion des engrais est d'arriver (sans laisser tomber le principe sur la recherche de la haute productivité, le Maroc n'étant pas encore parvenu à son autosuffisance alimentaire) à opérer au voisinage de la barre à l'entretien [Villemin et al, 1986; Aït Houssa, 1989] afin de comprimer les charges. Ce qui nous conduit implicitement à de nouveaux concepts de fertilisation type fumure raisonnée, fumure juste, fumure sur mesure,... semblables à ceux développés en Europe au lendemain de la relance de la PAC [AZP, 1992].

Il ne s'agit pas ici de faire le point sur le secteur des engrais au Maroc, même si l'on est dans l'obligation, pour le besoin de notre communication, d'en rappeler quelques caractéristiques fondamentales, mais plutôt de présenter au lecteur l'expérience acquise en la matière dans le contexte spécifique des Domaines Agricoles. Cet exposé sera scindé en 4 parties, la première traitera du modèle de gestion de l'approvisionnement et des rapports avec le fournisseur, la seconde de la gestion agronomique (ou, si l'on préfère, de la fertilisation), la troisième du coût économique, et la quatrième enfin des problèmes de l'environnement.

PREMIERE PARTIE

Modèle de gestion de l'approvisionnement

1- Les spécificités du marché des engrais au Maroc

On ne peut pas faire d'analyse objective des conditions d'approvisionnement de l'agriculture en engrais sans la prise en compte des spécificités suivantes du marché des fertilisants au Maroc :

a- Mis à part les phosphates, le Maroc est importateur de tous les autres engrais, soit sous forme de produits finis (ammonitrate, urée, sulfate d'ammoniaque, chlorure de potasse, sulfate de potasse,...), soit sous forme de produits de base (NH₃,...), pour la fabrication des complexes binaires ou ternaires (MAP, DAP, ASP, 14-28-14,...). Le Maroc fait donc de l'agriculture avec de l'engrais en grande partie importé.

b- Par rapport aux géants de la consommation dans le tiers monde (Chine, Inde, ...), le marché marocain est un petit marché qui n'intéresse que

¹ Département d'agronomie, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès, BP S/40, Meknès.

² Direction des Domaines Agricoles, Route d'Azemmour, Km 5, Casablanca.

très peu les fabricants des engrais ; aucun des grands fabricants dans le monde n'est impliqué directement dans la production et la distribution des engrais au Maroc. Le Maroc est donc un petit marché marginal, traité par "personnes interposées".

c- Sur le plan intérieur, en dépit de sa libéralisation totale depuis quelques années, le marché des engrais au Maroc, n'est pas encore parvenu à un stade de régulation régi exclusivement par la loi de l'offre et de la demande ; très peu de sociétés d'une dimension suffisante pour fidéliser le client se sont rajoutées à la liste très limitée des concurrents qui se disputent le marché. Il n'y a donc pas beaucoup de choix pour le grand client.

d- La demande en engrais sur le marché est fortement influencée par les conditions climatiques de l'année, en particulier pour les engrais de couverture. Il s'agit donc de gérer une demande constamment soumise aux aléas climatiques pour un produit (à en croire le fournisseur) à marge bénéficiaire très limitée.

e- Au Maroc, la spécificité de la commande d'engrais est qu'elle est toujours une commande de dernière minute pour un besoin urgent !! C'est la pluie qui déclenche le processus de commande et non le reste. Pour répondre à une telle demande brutale, le fournisseur doit disposer d'une sorte d'organisation et de logistique d'intervention rapide, permettant de passer de Zéro livraison la veille (avant pluie) à pleine capacité le lendemain (après pluie).

2- Gestion du risque lié à ce marché?

Au plan approvisionnement, il y a 3 problèmes à résoudre : trouver l'engrais qu'il faut, dans les délais, et à des conditions intéressantes ?

a- Le choix du fournisseur

Pour l'utilisateur, l'idéal c'est la commande ouverte avec enlèvement de dernière minute cent pour cent garanti si l'année évolue bien, et désengagement total de dernière minute si l'année est sèche sans que cela n'altère les relations avec le fournisseur, alors que l'idéal pour ce dernier sur le plan commercial, est sans

doute de faire une grande campagne de ventes avec des paiements cent pour cent garantis et peu de stock, sinon Zéro stock à la fin.

Pour le client un système d'une telle flexibilité, garanti Risque Zéro et garanti service qualité supérieure, suppose des conditions de concurrence industrielle et/ou commerciale où le "mot" appartient réellement au Client, ce qui n'est pas le cas pour le moment au Maroc.

Comme c'est dit plus haut, dans le secteur des engrais, il n'y a pas eu le progrès spectaculaire attendu avec la libéralisation. Cette très lente évolution est peut-être à mettre en rapport avec la marge bénéficiaire (à en croire le fournisseur toujours) très limitée que laisse l'engrais.

Pour un grand consommateur comme nous, en quête non seulement d'un prix intéressant, mais aussi et surtout d'un fournisseur régulier... les opérations éclaires des intermédiaires avec forte "descente" sur le marché uniquement les bonnes années climatiques, pour intéressantes qu'elles soient au niveau du prix, ne sont pas une solution. Quand on fait de l'agriculture avec des engrais pour la plupart produits à l'étranger, il ne saurait être question pour une grande entreprise de production de confier son sort (sur les engrais) à des intervenants imprévisibles qui, une année donnée, importent de l'engrais et une autre du matériel d'irrigation ou des vaches laitières!!

Aux Domaines, face à la quadrature du cercle et faute de mieux, nous continuons à travailler dans le cadre d'un vieux système de partenariat avec fournisseur unique et commande ferme (ou tout au plus semi-ouverte). Comme dans tous les contrats de partenariat, les mécanismes mis en place pour régir les rapports client/fournisseur, sont des mécanismes avec des concessions de part et d'autre ; aucune des 2 parties n'y obtient pleine satisfaction.

En tant que consommateur, le point principal en notre avantage dans ce système est la garantie que la commande soit honorée en priorité quelle que soit l'évolution de la campagne agricole, le point en notre désavantage est l'impossibilité de se désengager une fois les engrais

commandés, en particulier pour les produits importés exclusivement (ou presque) pour les Domaines, comme le sulfate de potasse granulé (SKG).

b- Disponibilité des produits sur le marché et délais de livraison

Sur la gamme potentielle des produits, le système de distribution mis en place par le Maroc n'est pas défaillant. Tous les engrais dont le marché a besoin existent dans le commerce, qu'il s'agisse des produits usuels de la grande culture ou des produits spéciaux utilisés en fertigation ou pour le traitement des carences.

Au plan délai de livraison, c'est incontestablement pour les produits fabriqués sur place (TSP, ASP, MAP, DAP,...) que le service est assuré sans la moindre faute. Quand le produit est disponible (il faut dire la vérité), l'ordre pour commencer les enlèvements est donné aux Usines Régionales dans les heures qui suivent la commande. Par contre les produits *créateurs de litiges* avec le fournisseur sont les produits d'importation. De grands retards concernent parfois le SKG, mais c'est surtout pour les granulés azotés (ammonitrate, urée) que d'importantes difficultés d'approvisionnement ont été constatées durant les 10 dernières années. Avec ces 2 produits, la difficulté est à son maximum quand la campagne est pluvieuse et la demande pour l'azote redevenue subitement importante. L'exemple typique est donné par l'excellente campagne 95/96 où le blé avait le "*ped dans l'eau*" alors que l'engrais azoté était encore bloqué en mer à cause du mauvais temps.

c- Organisation des enlèvements

Attendre le lendemain des pluies pour faire la queue devant les centres de distribution, n'est pas compatible avec les objectifs d'une grande entreprise qui doit semer d'importantes superficies chaque année. Pour des impératifs d'organisation des chantiers (préparation du sol, semis,...), il y a un calendrier des travaux et une date-butoir à respecter pour chaque opération. Pour la partie fertilisation de ces chantiers, les plans de fumure de la campagne suivante sont en général élaborés en juillet, la commande d'engrais est introduite le même mois et les enlèvements d'engrais de fond

débutent vers la mi-septembre, autrement dit à une époque où les centres de distribution sont *totale*ment "désertés" par les autres clients.

Eviter les files d'attente de l'après pluie, n'a pas comme avantage, que de mettre à la disposition des fermes l'engrais tôt dans la campagne, mais aussi de rentabiliser la petite flotte de camions dont nous disposons. Pour le transport, le mois de septembre est la période creuse. Il vient après la fin des récoltes des céréales et avant le démarrage des agrumes, qui sont les 2 principales activités des Domaines Agricoles où le transport est fortement impliqué.

C'est l'enlèvement des engrais de couverture de la culture en Bour qui soulève des difficultés. Fournisseur et utilisateur savent tous les deux, que les chances qu'une campagne agricole soit sèche au Maroc, sont toujours plus grandes que les chances qu'elle soit pluvieuse. Et chacun d'entre eux cherche à tout prix à éviter d'importants stocks azotés chez lui. D'une part, pour des raisons économiques évidentes (limitation de frais financiers), d'autre part pour des raisons liées à l'évolution de la qualité des engrais (risque de prise en masse) [AZF, 1992; Popp, 1986].

d- La qualité des produits

Alors que ce devrait être une pratique courante dans une entreprise grande consommatrice d'engrais comme la notre, paradoxalement aux Domaines Agricoles, nous n'avons que très rarement contrôlé les teneurs des engrais en éléments fertilisants. Faute de temps, le soin en est laissé aux services officiels concernés. Les rares fois que ces prélèvements de contrôle ont été réalisés (il faut dire la vérité), il n'y a pas eu de surprise quelconque. Aux erreurs de laboratoire près, les teneurs étaient plutôt conformes aux indications marquées sur le sac.

Fig.1 : Schéma de fonctionnement du modèle de gestion des engrais aux domaines agricoles

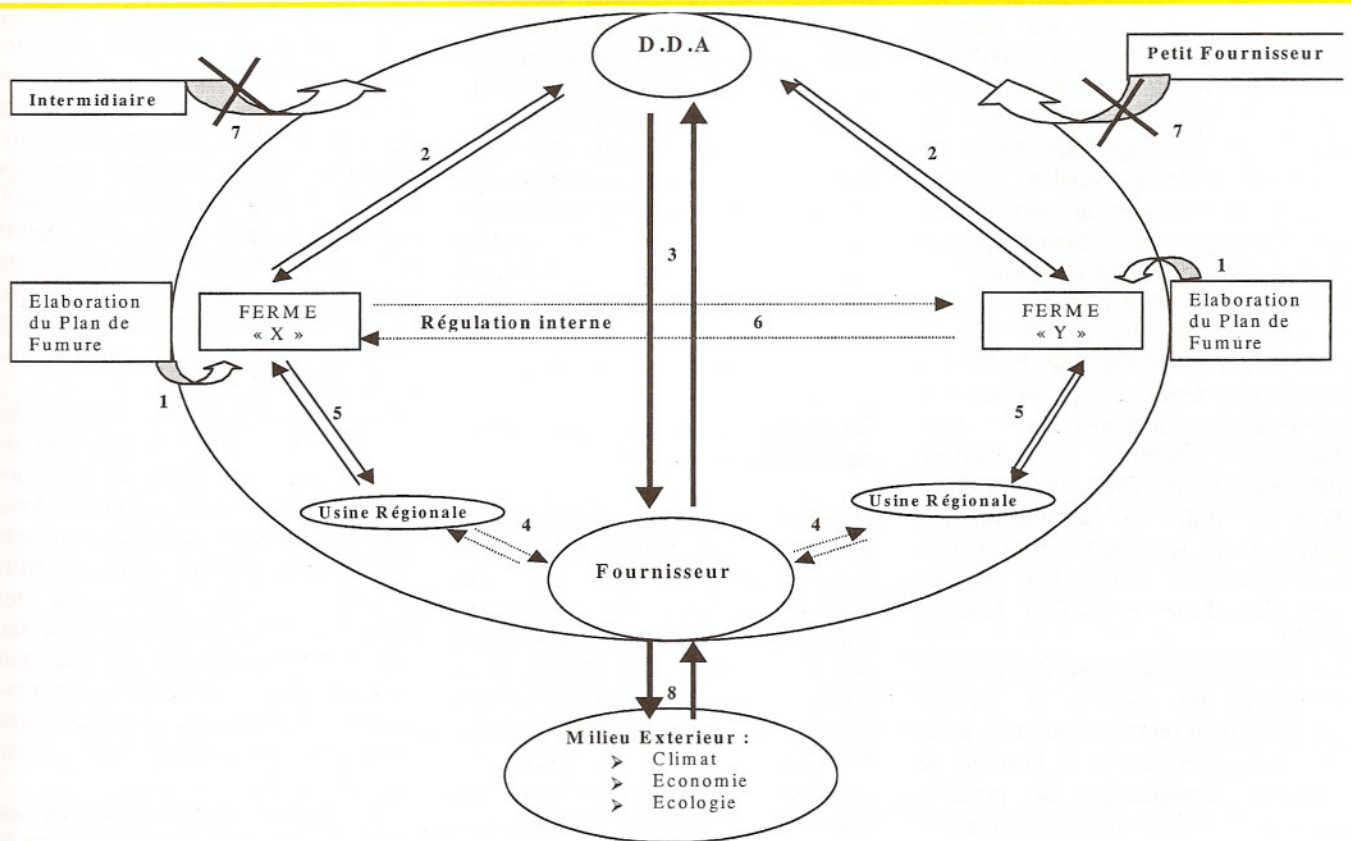


Schéma simplifié du fonctionnement du modèle :

- (1) : Elaboration du Plan de Fumure par la Ferme
- (2) : La ferme transmet le bon de commande à la Direction des Domaines Agricoles (DDA)
- (3) : La D.D.A valide le bon et le retransmet au fournisseur ;
- (4) : Le fournisseur donne l'ordre à son usine régionale pour livrer l'engrais à la ferme ;
- (5) : L'usine régionale livre l'engrais ;
- (6) : Fournisseur défaillant ou pénurie momentanée, la ferme en difficulté (X) lance un appel aux autres fermes (Y) en possession d'engrais (régulation inter-Domaines).
- (7) : Intermédiaire et petit fournisseur exclus pour le moment pour leur caractère de fournisseurs non fiables et non prévisibles ;
- (8) : Le système est influencé par le milieu extérieur (évolution du Climat de la campagne en particulier).

Au Maroc, avoir sa livraison d'engrais le premier n'est pas forcément un avantage au plan qualité de la marchandise, mais plutôt un risque, en particulier après une mauvaise campagne agricole ou l'objectif premier du fournisseur est de se débarrasser de ses stocks de report en dégradation. Or, pour des impératifs de respect des calendriers des travaux, ce sont justement les Domaines Agricoles qui se présentent les premiers au fournisseur. Ils sont donc constamment sous l'épée de Damoclès quant à la qualité des produits.

C'est sur la qualité physique qu'on a souvent de mauvaises surprises, qu'il s'agisse des engrais simples ou des engrais composés. Les produits objet de litige sont souvent les ammonitrates HD et particulièrement les ammonitrates fabriqués par certains pays de l'Est : mauvaise solubilité (pour un produit théoriquement très soluble !!) et inadaptation pour la fertigation (bouchage des buses de pivot) ou problème crucial de prise en masse avec nécessité de reprise totale du pilonnage pour pouvoir épandre l'engrais au moyen d'un épandeur.

L'ammonitrate 33.5 n'est pas le seul susceptible de dégradation de la qualité, il y a aussi le TSP, l'ASP, les complexes ternaires...et surtout les composés de mélange ou "*bulk blending*" obtenus par mixture mécanique [Popp, 1986; AZF, 1992].

Pour le Bulk, la dégradation est spectaculaire, voire parfois irréversible, si l'engrais a été commandé et resté en pile plus d'une année [Aït Houssa, 1994].

Le producteur n'étant pas équipé pour repilonner les engrais, le premier préjudice qu'il subit est celui de la perte de temps à reprendre le broyage de quantités considérables de produits avec des moyens manuels inadaptés. Ce qui entraîne parfois des retards d'épandage à une époque de l'année où l'on a plutôt besoin d'aller vite. Le second préjudice concerne le coût de l'opération que le producteur doit supporter alors qu'il a payé un engrais supposé n'avoir aucune dépense additionnelle de préparation si ce n'est la manutention.

e- Le système de régulation " Domaine / Domaine"

Outre le principe de l'enlèvement précoce érigé avec le temps au rang de règle fondamentale de travail, le modèle de gestion des engrais aux Domaines Agricoles, prévoit une sécurité supplémentaire en faisant jouer la régulation inter-Domaines (fig1) pour traiter les urgences en cas de défaillance du fournisseur ou de pénurie sur le marché.

Aujourd'hui tous les éléments de ce système de régulation sont connus et maîtrisés : le produit concerné par la pénurie (c'est généralement l'azote de couverture), les cultures (ce sont les céréales à paille), l'année à grand risque de pénurie (c'est la bonne année climatique), l'époque de l'année (c'est Février-Mars) enfin chez qui trouver le produit en attendant l'arrivage de l'étranger (les Domaines à Agrumes possédant encore beaucoup de stocks à cette époque). D'une manière générale, le "SOS-azote" doit être lancé en premier dans le voisinage immédiat de la ferme car au-delà d'une certaine distance l'opération de transfert est impossible pour des raisons de coût de transport.

DEUXIEME PARTIE

La gestion des engrais sur le plan agronomique

Depuis 1987 pour les agrumes et 1991 pour les grandes cultures, les plans de fumure sont élaborés par voie informatique grâce à 2 logiciels appropriés mis au point respectivement par la SASMA³* [Aït Houssa et al, 1987] et par les Domaines Agricoles en collaboration avec l'ENA de Meknès⁴ ** [Aït Houssa et al, 1997]. Les multiples avantages évidents du traitement informatique par rapport au traitement manuel ont été développés par ailleurs [Quemener et al, 1985, Villemin et al, 1992, Aït Houssa et al, 1997]. Les procédures exploitées par ces logiciels pour la détermination des besoins en engrais font appel à quelques détails spécifiques près, à la

³ Logiciel dénommé ASSAD-système

⁴ Logiciel dénommé Ibn Alawam -système FRGC 1.0.

double notion de fumure d'entretien et de fumure de redressement en ce qui concerne le phosphore et la potasse [Aït Houssa, 1989; Villemin et al, 1992], et à la méthode dite des bilans selon Hebert [1969] pour la grande culture, et selon la SASMA [1980] pour les agrumes, en ce qui concerne l'azote. Sans entrer dans le fond des programmes, l'optimisation du plan de fumure est envisagée selon 3 axes : l'optimisation du calcul de la dose elle-même, l'optimisation des modalités d'apport et enfin l'optimisation du choix de la nature du produit.

1- Optimisation selon l'axe "procédure de calcul de dose"

Dans les années 80, la méthode était manuelle et chacun calculait la fumure à sa façon. La seule partie commune de la procédure concernait peut-être les exportations, encore faut-il que les tables de référence consultées soient les mêmes ? Pour la suite des calculs, l'appréciation des problèmes était très différente selon l'agronome consulté. Les uns tenaient compte des apports de fumier, les autres non, parfois on calculait le redressement, parfois non, si bien que pour une même parcelle on a autant de plans de fumure que d'intervenants.

Avec l'informatique, l'avantage a été surtout d'avoir unifié la procédure de travail et d'aller bien au-delà des exportations dans les calculs de dose. Dans la procédure actuelle, les apports externes de matière riche en NPK (fumier, gadoue, lisier, ...), les corrections de divers ordres (fixation, lessivage, volatilisation,...), pour tenir compte des interrelations engrais-milieu édaphique ou climatique sont intégrées au calcul de façon systématique.

Pour la grande culture, le logiciel est même muni, d'un autocontrôle de la qualité des informations introduites de façon à "forcer" l'utilisateur non averti à travailler au voisinage de l'optimum. La "virulence" de la machine à l'égard de l'utilisateur est fonction de l'ampleur de l'erreur introduite. Un utilisateur qui dira "à la machine"

qu'il est en irrigué et qu'il compte faire du blé à 20 qx, celle-ci se contentera seulement d'attirer son attention qu'il s'agit d'un rendement faible (symbole Attention Δ), par contre si le rendement proposé en blé est de 100 qx !! (du jamais vu au Maroc), le refus est total et l'information est rejetée d'office par la machine (symbole Stop : information erronée).

2- Optimisation selon l'axe "modalités d'apport"

L'optimisation de la fumure de fond suppose une grande flexibilité des modalités d'apport, une certaine personnalisation de l'opération. Aux Domaines Agricoles la tendance actuelle est le recours à l'engrais simple en épandage séparé et au "Bulk blending" préparé sur place ou acheté parfois au commerce.

Sauf dans quelques cas particuliers où il y a aussi intérêt à fractionner le phosphore et la potasse, notamment pour limiter le lessivage (sol sableux avec irrigation gravitaire), la fixation (sol très calcaire pour P, sol à fort pouvoir fixateur pour K), ou pour améliorer les conditions de nutrition de la culture (culture faisant l'objet de plusieurs coupes), d'une manière générale la fumure PK entièrement bloquée au semis est le mode d'apport le plus utilisé.

A l'inverse du P et K, la technique du fractionnement demeure la règle de travail pour l'apport azoté. Le nombre d'apports varie en fonction de la zone climatique et des possibilités d'irrigation (fractionnement plus important en irrigué qu'en Bour, plus important en Bour favorable qu'en zone aride), du type de sol et du mode d'irrigation (plus important en sol sableux irrigué par gravité qu'en sol lourd irrigué par aspersion), de la culture (plus recommandé sur un ray grass faisant l'objet de plusieurs coupes dans l'année que sur une culture à une seule récolte comme le blé).

3- Optimisation selon l'axe "choix des engrais"

Comme pour le mode d'apport, l'optimisation de la fumure suppose

également une flexibilité au niveau du choix de la nature de l'engrais.

Pour le phosphore, c'est le taux de calcaire qui reste l'élément fondamental de décision. En terrains acides (qui sont rares au Maroc), c'est le superphosphate normal 18% qui est recommandé. Par contre en sols calcaires, surtout à fort taux de calcaire actif, on conseille plutôt le super triple 45 %, engrais plus soluble et plus adapté.

En plus de la sensibilité de la culture au chlore, c'est la salinité du sol qui impose le choix de l'engrais potassique au Maroc. Le chlorure de potasse (en dépit de son très bon prix par rapport au sulfate et au nitrate), est déconseillé en conditions de sol touché par la salinité ou sur certaines espèces réputées sensibles tels que l'avocatier, les agrumes, les arbres à noyaux,...

[Lekchiri, 1977].

C'est au niveau de l'azote que le choix est plus délicat en raison de la complexité de la dynamique de cet élément dans le sol, d'autant plus que le nombre d'engrais disponibles est très limité. Il n'y a guère en notre possession que trois grands produits (le sulfate d'ammoniaque, l'ammonitrate, l'urée) pour traiter tous les problèmes agronomiques liés à la forme du produit.

Au niveau des Domaines Agricoles, voici de façon résumée, comment sont gérées les 3 formes azotées :

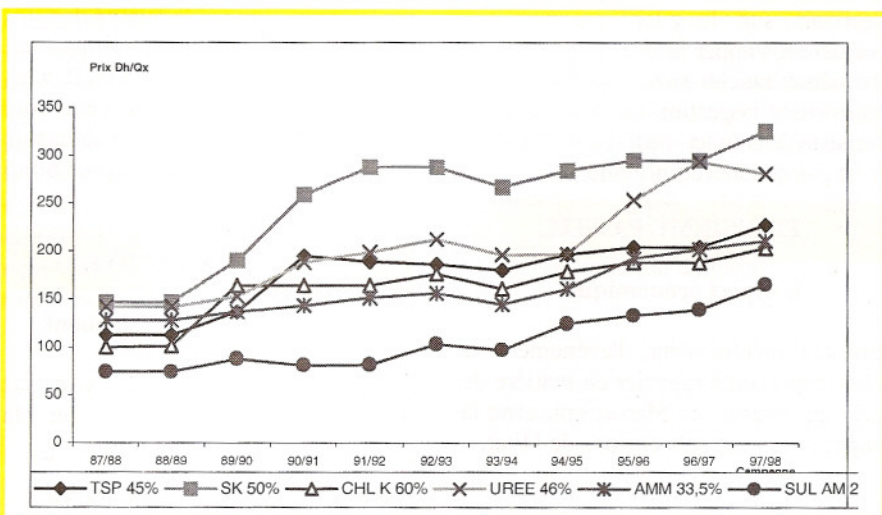
- le sulfate d'ammoniaque est généralement réservé aux applications précoces sur agrumes, à la fabrication du "bulk blending" pour la grande culture, aux terrains sableux, aux cultures exigeantes en soufre comme le colza, l'ail, ...
- l'urée est un engrais à usage très large sauf en terrains très calcaires où les risques de volatilisation sont très grands.
- grâce à leur composition (forme de N mi-ammoniacale, mi-nitrique) les ammonitrates ont un éventail d'utilisation plutôt large, c'est la solution (la seule qui existe d'ailleurs) partout où les 2 autres produits sont déconseillés.

4- Procédure de rattrapage en année difficile

En Bour, globalement et en premier lieu, c'est le climat (plus particulièrement la sécheresse) qui peut intervenir beaucoup au milieu de la campagne pour modifier la stratégie de fertilisation. D'où la nécessité d'une procédure de rattrapage en cours de route. Mais la marge de manœuvre n'est pas la même pour tous les produits.

Pour le phosphore et la potasse, impossible bien sûr, de revoir la décision de fertilisation initiale à la baisse en cours de culture, car au moment de constater la sécheresse, c'est déjà trop tard pour intervenir,

Fig 2 : Evolution des prix des engrais



puisque PK est en général appliqué tôt dans l'année, c'est à dire au semis. En année très sèche de Zéro récolte ou de petite récolte comme cette campagne (2000), pour rattraper l'apport non exploité l'an dernier, les Domaines conseillent en général de ne rien apporter (ou de n'apporter qu'une petite dose) l'année suivante. Des astuces d'exploitation simples de l'archivage du logiciel de fertilisation des grandes cultures permettent de corriger la fumure de l'année suivante en tenant compte des reliquat de l'année précédente.

C'est pour l'azote qu'une gestion prudente est affichée dès le départ. Le conseil prévisionnel édité par l'informatique, concernant cet élément, est toujours suivi du message de prudence suivant à l'intention de l'utilisateur : "Ce conseil de fumure azotée vous est donné à titre indicatif, il doit encore être adapté aux conditions réelles de l'année si ces conditions s'écartent beaucoup de vos prévisions".

D'une manière générale, si la campagne évolue vers la sécheresse (ce qui est fréquent en Bour), en matière de gestion des intrants (des engrais entre autres), on conseille au Gérant de la ferme d'abandonner immédiatement son objectif initial (de toute façon impossible à réaliser, faute de pluie) concernant la recherche de la haute productivité, au profit d'un second objectif plus facilement maîtrisable, qu'est celui des économies sur les intrants [Benharbit, 2000]. Pour l'azote, qui nous intéresse le plus ici, la décision sur le plan agronomique consiste à stopper la deuxième ou/et la troisième tranche d'azote, et la décision concernant la gestion de la commande consiste à annuler celle-ci si l'engrais n'est pas encore réceptionné.

TROISIEME PARTIE

L'aspect économique

En tant qu'utilisateur, l'événement le plus important à rappeler en matière de prix des engrais au Maroc, concerne la suppression des subventions de l'Etat,

intervenue en 89. Elle a été ensuite suivie par une série d'augmentations sans cesse de tous les produits, y compris ceux fabriqués sur place comme les phosphates (fig. 2).

Pour certains produits, il y a eu des dates avec un saut très remarquable de prix sans que l'on sache la raison: 89 a été le saut pour tous les produits à la suite de l'abrogation de la subvention, 91 a été l'année du sulfate de potasse, du TSP45 et de l'urée, 92 a été l'année du sulfate d'ammoniaque,... 96 a été de nouveau un saut pour tous les produits,...

L'impact négatif de ces augmentations sur le prix de revient des différentes productions n'est pas le même. Ce sont surtout les cultures grandes consommatrices d'engrais et à faible valeur ajoutée dans le contexte des Domaines agricoles (fourrages, betterave, tomate,...) qui sont les plus touchées.

Bien sûr, les agronomes des Domaines Agricoles ne sont pas restés indifférents à l'égard de ces augmentations sur les engrais. Pour en atténuer l'effet, très rapidement la décision a été prise de revoir notre politique générale en matière de fertilisation. Dans la nouvelle approche (comme nous l'avons dit en introduction), l'excès d'engrais n'est plus perçu comme une sécurité ou une avance au sol, même pour P et K, mais plutôt comme une dépense inutile. Les normes pour le calcul d'entretien et de redressement ont été déjà revues à la baisse partout où nous considérons qu'il n'y a pas de risque sur la productivité et la qualité des produits agricoles (aride, semi-aride, irrigation au goutteur⁵, ...). Et il n'est pas exclu de continuer dans cette voie dans l'avenir si de nouveaux éléments viennent à confirmer que la possibilité existe encore.

QUATRIEME PARTIE

L'engrais et l'environnement

A notre connaissance, il n'y a pas beaucoup de publications sur la

pollution du milieu par l'engrais au Maroc. Mais toujours est-il qu'au niveau de certains périmètres, le niveau de la nappe en nitrates est trop élevé (200 ppm et plus !!) par rapport à la norme des 50 ppm de l'OMS, preuve que ces problèmes de pollution existent réellement [DDA,1992]. Les nappes d'eau soumises au risque sont à l'évidence celles situées sous les zones où l'on manipule beaucoup d'effluents riches en N ou d'engrais azotés : périmètres irrigués, zone d'élevage intensif, ...

Les logiciels exploités par les Domaines Agricoles pour élaborer les plans de fumure, sont en principe conçus pour porter la productivité à son optimum sans trop de risques de polluer le milieu. Mais le conseil édité pour l'azote reste d'une valeur très théorique si la campagne sur le plan climatique n'évolue pas exactement comme prévu. Et au Maroc (tout le monde le sait) la prévision climatique reste toute relative. En année très pluvieuse comme 95/96, la dose "juste" calculée par le système peut s'avérer insuffisante du fait d'un lessivage exceptionnel excessif [Aït Houssa et Ouknider, 1996]. Le producteur, plus préoccupé par la recherche d'une productivité supérieure pour rattraper le manque à gagner des années sèches antérieures, que par les risques de pollution de la nappe, peut être amené à revoir sa fumure azotée à la hausse au prix d'un risque inévitable de pollution de la nappe par les nitrates.

D'une manière générale, dans les conditions marocaines, les bonnes campagnes, ce sont surtout les facteurs dont le contrôle échappe au producteur (excès momentané de pluie) qui font de lui un pollueur malgré lui. Comme dans les autres régions du globe, l'élément numéro un indiqué du doigt est l'azote, du fait de l'extrême mobilité de cet élément dans le sol [Benbella, 1985].

Bien sûr, pour un pays comme le Maroc, qui a une importante population à nourrir, la recherche de la haute productivité partout où cela

⁵ majoration pour cause de lessivage, volatilisation, fixation, ... revue à la baisse ou prise égale à zéro dans le calcul.

REFERENCES

- Agbani, 1993: Résultats des expérimentations réalisées sur la betterave à sucre dans la région des Doukkala. CR d'essais-Sucreries des Doukkala, Maroc.
- Aït Houssa, 1979 : Enquête réalisée sur les bilans culturaux NPK dans les périmètres de Tadla, Gharb et Doukkala. Chaire d'Agronomie ENA Meknès, Maroc.
- Aït Houssa A., 1987 : Caractérisation des sols dans le secteur tramé de sidi Bennour. CR d'étude agropédologique réalisée pour le compte de la sucrerie des Doukkala, Maroc.
- Aït Houssa A., 1989 : Etude du potassium dans divers types de sol et systèmes de culture au Maroc. Thèse de Doctorat d'Etat Es sciences Agronomiques, IAV Hassan II, Rabat-Maroc, 145p.
- Aït Houssa A., Idrissi L., Lekchiri A., 1987 Logiciel de fertilisation raisonnée des Agrumes au Maroc (Première version). SASMA, Ain Sebaa, Casablanca, Maroc.
- Aït Houssa, 1995 : Observations réalisées sur le "Bulk blending" au Domaine Agricole de Bouznika.
- Aït Houssa A., Ouknider M., 1996 : Observation en terrains sableux des migrations de minéraux suite aux très fortes pluies. DDA, Casablanca, Maroc.
- Aït Houssa A., Rajaa H., Mme Rajaa Saïda., Benmansour S., Albabaallal H., Ouknider M., Benbella M., Elmidaoui M., 1997 : Ibn Alawam système, logiciel de fertilisation raisonnée des grandes cultures. Guide d'utilisation. DDA/ENA, Maroc.
- Aït Houssa A., 1999 : Résultats sur les prix de revient obtenus sur les céréales et les Agrumes dans les Domaines Agricoles du Gharb. Rapport Annuel, DAG, Sidi Slimane, Maroc.
- AZF, 1992: Azote Juste. Colloque organisé au lycée Agricole "Le Robillard" France: 20 Mai.
- Benbella M., 1985 : Migrations des nitrates dans le profil. Non publié. Chaire d'Agronomie, ENA, Meknès, Maroc.
- Bonnieux F., Rainelli J.P., 1990: Fonction de dommage à l'environnement et pollution par les nitrates d'origine agricole. Nitrates-Agriculture-Eau. Symposium International organisé par l'INA.P-G (France): Nov. 7-8 Mai.
- DDA, 1992 : Résultats d'analyses de puits d'irrigation situés dans la région de Rabat. Non publié.
- Benharbit K., 2000: Comment gérer les intrants en année difficile Bull Interne d'Information N°7. Direction des Domaines Agricoles, Casablanca, Maroc.
- Hebert J., 1969 : La fumure azotée du blé tendre d'hiver. B.T.A N° 244 : 755-766, France.
- Popp Th., 1985: De l'importance de la qualité des engrais dans un épandage mécanique. Informations Agricoles. BASF, RFA.
- Lekchiri A., 1977 : Problème de salinité. Note ingénieur n°301. Les Dossiers techniques du producteur. SASMA, Maroc.
- Quemener J., Bornard J.C., Villemin P., 1985 : Informatique et régionalisation du commentaire d'analyse de sol. Compte rendu de l'Académie d'Agriculture de France.
- Villemin P., Quemener J., Bornard J.C., Colin D., 1986 : IPAS, Logiciel d'interprétation personnalisée des analyses de sols. Annales de Gembloux, 92 : 1-16.

est possible, est presque une cause nationale pour l'agronome. Mais il ne faudrait pas en faire un alibi pour justifier l'abus.

Un système de gestion de la pollution de type système "faute de personne" ou (si l'on préfère) "faute de tout le monde" ou aucune partie ne risque d'être punie pour son abus n'est pas dans l'intérêt du pays à terme. En plus de la nourriture, le citoyen marocain a aussi besoin d'un environnement propre, d'une eau potable non polluée par les nitrates, en particulier.

Mais en attendant la mise en place de textes plus dissuasifs faisant appel à des principes du genre pollueur-payeur [Bonnieux et Rainelli, 1990], l'agronome spécialisé en fertilisation a un grand rôle à jouer pour la préservation du milieu contre la pollution par les engrais. D'ores et déjà pour limiter cette pollution, il faut commencer par éliminer des fumures les excédents agronomiquement inutiles. Quel que soit le niveau de rendement recherché, une betterave par exemple n'a pas besoin d'une fumure azotée de 400 ou 500 unités comme on en notait avant dans les grands périmètres betteraviers [Aït Houssa, 1979]. Même pour des rendements très élevés de plus de 100T/ha, des fumures d'ordre de 200-250 unités sont largement suffisantes [Aït Houssa, 1987; Agbani, 1993].

Alors que le contrôle du mouvement de l'azote est impossible sous irrigation gravitaire, qui reste le système d'irrigation le plus dominant au Maroc, avec l'aspersion bien conduite et surtout la microirrigation, les risques de pollution sont réellement minimes. C'est là que des progrès considérables sont possibles pour les pays arides comme le Maroc. Avec la microirrigation non seulement on peut limiter la pollution grâce à une meilleure maîtrise du drainage, mais en plus on valorise mieux le peu de ressources en eau disponibles.

VII- Conclusion

Un modèle de gestion d'intrants lequel qu'il soit, reflète forcément les préoccupations de l'entreprise qui l'a mis au point, ses contraintes internes, avec l'extérieur. La forme plus ou moins élaborée de ce modèle traduit également les efforts de synthèse fournis quant à la capitalisation de l'expérience passée en vue de s'en servir pour une meilleure maîtrise de la gestion des problèmes dans l'avenir.

Au Maroc (et aux Domaines en particulier), les éléments fondamentaux du modèle de gestion des consommations d'engrais sur le plan agronomique sont identiques à ceux pris en compte (productivité, qualité, environnement) dans les autres régions du globe (en Europe notamment). Mais la lecture en est faite pour le moment dans un ordre différent.

Dans les pays en surproduction, la haute productivité n'est plus d'actualité, c'est l'environnement qui prend le dessus sur tout le reste, que ce soit dans le discours politique, social ou dans le Domaine de la recherche.

Au Maroc, il ne saurait être question (en particulier pour les produits de base comme la farine, le lait, la viande,...), de reléguer la productivité de l'Agriculture au second ou au troisième rang pour ne parler que de l'environnement. Sans perdre de vue l'aspect pollution du milieu, le défi numéro un à relever continuera d'être la nécessité d'assurer la sécurité alimentaire à une population qui croît sans cesse. En matière de fertilisation, il faudrait donc évoluer vers une approche qui, tout en respectant l'environnement, ne soit pas en contradiction avec la mission fondamentale de l'agriculture de nourrir la population du pays.

SOIL QUALITY AND ASSOCIATED CHANGES IN FERTILIZER MANAGEMENT FOR WHEAT IN NO-TILLAGE PRODUCTION SYSTEMS OF SEMIARID MOROCCO

Rachid Mrabet¹, Khalid Ibno Namr², Najib Smali³, Mahjoub Ahdj⁴ and Najib Saber⁵

ABSTRACT

Wheat fertility research program has been concentrating during the last several seasons on proper N, P and K fertilization because of the major role these nutrients play in profitable conventional wheat production, but no concern where given yet to changes happening in soils under No-tillage system. In addition, efficient fertilization is crucial for economic wheat production, protection of ground and surface waters and healthy productive fertile soil. Excessive plant-available N produces wheat plants that are susceptible to lodging and disease with resulting decreased yields and increased input costs. The potential for enrichment of ground with nitrates and surface waters with phosphorus also increases with excessive fertilizer applications. However, insufficient nutrient availability to wheat plants results in low yields and significantly reduced profits compared to a properly fertilized crop. The maintenance of adequate fertility at key crop growth periods is a major management challenge in no-till cropping systems. Research has shown that the soil environments are different under no-tillage

management than under conventional tillage. Nitrogen, Phosphorus and other nutrients are supplied in organic forms via residue and organic matter decomposition and can totally or partially replace mineral fertilization when shifting to zero-tillage technology. In fact, little is known about how fertilizer management practices should be adjusted to meet wheat nutrient needs in the no-till production systems. The fertilizer pathways under conventional tillage are different from those under no-tillage and hence fertilizer placement, type, rate and timing are the major tools available that need to be manipulated to produce sustainable wheat yields under no-till. In terms of wheat production and water use, our data indicate that no tillage is a viable management strategy for semiarid areas of Morocco. The objectives of the present paper are 1) to show differences in soil quality attributes (namely soil organic matter, total nitrogen, phosphorus, potassium and pH) between conventional and no-tillage under contrasting cropping systems and 2) to draw conclusions and recommendations on fertility status and fertilizer use and management

changes when applying no-tillage at farmer level. We have compiled data collected from a long-term site in semiarid Morocco. It was found that No-till soil sequester more organic matter at the surface without depleting deeper horizons, which provide adequate amount of nutrients to crops. In addition, depending on rotation, N and P content of the soil improved with no-till compared with conventional tillage after several years of experimentation. In other terms, no-tillage has helped to retain large amount of soil organic matter (SOM), to conserve more nitrogen and to build-up P in the upper root-zone. With increased SOM and decreased pH, it is likely that potassium availability will increase. Hence, NT wheat received a natural fertilization through gradual decomposition of high level of SOM and fertilizer use and management under NT will deviate much from conventional tillage, in terms of rate, type, application, placement and timing. These opportunities under NT will also be discussed in this paper.

Keywords: No-tillage, Soil quality, Fertility, Fertilizer, Soil test calibration, Wheat, Morocco

INTRODUCTION

Agricultural production in dry areas is typically limited by water and soil productivity factors. For a long time, tillage has played a central role in agricultural productivity and the plow was the ultimate tool for developing

agriculture in many advanced and developing countries. However, fertile soils are losing their productivity silently with time through unseen oxidation of soil organic matter, depletion of nutrients and water reserves and retention capacities and deterioration of soil structure. Most

international organizations and institutions alerted to the urgent need for better farming by reducing tillage to minimum or eliminating it to both improve crop production and restore natural resource quality. New environments arising from major reduction in tillage, not only provided

¹ Associate Researcher, Institut National de la Recherche Agronomique, Centre Aridoculture, P.O. Box 589 Settat 26000 Morocco Email: mrabet1@altavista.net, Fax: +2123403209 Phone: +2121430768 (Corresponding author).

² Assistant Professor, Faculté des Sciences, El-Jadida, 24000 Morocco.

³ Graduate Student, Faculté des Sciences et Techniques, Settat 26000 Morocco.

⁴ Graduate Student, Faculté des Sciences et Techniques, Settat 26000 Morocco.

⁵ Assistant Professor, Faculté des Sciences, El-Jadida, 24000 Morocco.

new solutions to old problems (soil erosion, nutrient decline...) but also gave rise to new problems and opportunities (herbicide use, fertility management). Interest in no-till systems has increased substantially during the last few decades. This has been brought about by a deeper appreciation for plant residue's central role in so many soil processes and properties that are critical for crop growth and environmental quality. The relatively recent activity and research focused on a better understanding of soil quality and standardizing its indexes has also played a role in the enhanced appreciation for the importance of no-till techniques (Karlen et al., 1997). Changes in tillage and cropping systems are accompanied by associated changes in soil quality, soil fertility and availability of soil water and nutrients to crops. In many areas of the world, no tillage (NT) was found to contribute to build-up of soil productivity through carbon sequestration, microbial abundance, soil aggregation, nutrient reserve, as well as improved soil water relationships (Karlen et al., 1994). The final results were maintenance of successful crop production and conservation of soil resource base. Mann (1986) stated that carbon loss by conventional tillage (CT) is caused by greater oxidation of SOM and ranges from 20 to 50% in soils dominating the semiarid regions. Tillage and crop rotation also affect soil pH, which consequently influence nutrient availability. These changes in soil fertility indexes developed a rethinking of soil test calibration and fertilizer recommendation programs for two reasons : optimizing resource use and reducing environmental risks. Soil test calibration was designed to correct soil quality decline, in order to lift production through appropriate nutrient application to crops. Nevertheless, impact of fertilizer on production of low fertility soils is short-lived and concern should be forwarded to restoring soil quality using best management practices.

Sustainability of cropping systems can be achieved by effective and optimal management of both indigenous and exogenous, added (fertilizers) or

returned (crop residue), soil nutrient resources. Crop response to fertilizers and the status of nutrients differ between NT and CT soils. Nitrogen, Phosphorus and other nutrients are supplied in organic forms via residue and organic matter decomposition and can totally or partially replace mineral fertilization when shifting to zero-tillage technology.

For reversing soil quality decline and crop production drop, researchers at the Morocco's Dryland Research Center, INRA (Bouzza, 1990; Kacemi, 1992; Mrabet, 1997), like their colleagues in USA (Allmaras et al., 1991; Blevins and Frye, 1993), Europe (Boisgontier, 1991; Maillard and Vez, 1993; Lopez-Bellido et al., 1996), UK (Cannell et al., 1978), Latin America, Africa and Asia (GTZ, 1998; Dersph, 1998) and Australia (Kirkegaard, 1995), investigated the merits of no tillage technology and conservation production systems. No-tillage soil management system may become an increasingly common practice in Morocco due to various inherent advantages, reduced erosion, increased water use efficiency and stable returns.

While the agriculture of Morocco is dominated by climate, limited water and temperature, the quality of soils is also of crucial importance for improving production. Available nitrogen is often the governor of crop growth, while other nutrients are at sufficient levels, but is very transient in the soil due to loss pathways as ammonia, denitrification and leaching. Next to nitrogen, phosphorus is probably the most widespread deficiency in Moroccan soils (Soltanpour et al., 1989). The need for potassium is less likely, because of inherent reserve in Moroccan soils (except sandy soils) (Azzaoui et al., 1993). Due to high price of fertilizers and their transport costs, and the low yields, it is recommended that imposed soil/crop management system should supply or provide in part the crop requirements. Smith and Elliott (1990) stated that in many dryland cropping systems, depending on fertilizer additions and crop rotation, 50% or more of the nitrogen required by the crop comes from the mineralization of SOM.

Little is known about how fertilizer management practices should be adjusted to meet wheat nutrient needs in the no-till production systems. The fertilizer pathways under conventional tillage are different from those under no-tillage and hence fertilizer placement, type, rate and timing are the major tools available that need to be manipulated to produce sustainable wheat yields under no-till. Groffman (1984) did not find differences in total amounts of nitrification and denitrification from a 0-21 cm horizon between no-tillage and tillage treatments, on an annual basis. However, Dowdell et al., (1983) found that no-tillage systems have higher rates of denitrification and lower rates of nitrification than conventional tillage systems. Rice and Smith (1983) showed that rates of nitrification can be higher in no-tillage soils than in conventional tillage soils due to more favorable moisture conditions for nitrification in no-tillage soils. Hence, no-tillage effect on nitrification / denitrification processes is site specific. Increased rotation intensity using no-till practice, increases surface soil organic matter which can affect soil fertility and nutrient cycling. Nutrient cycling is altered by no-tillage and fertilization strategies are needed to meet and synchronize requirements of crops under the new soil ecology engaged by these systems as compared to conventional tillage practices. Consequently, an understanding of soil quality/ecology is important for developing sustainable and efficient methods of fertilization..

the present paper aims to :

- provide an assessment of the soil quality (ie soil chemical properties) under no-tillage and conventional tillage in various cropping systems applied for the last 11 years at Sidi El Aydi experimental station, and
- propose recommendations for fertilizing no-till crops within the context of these changes in soil ecology.

This tentative illustration of changes in soil fertility and fertilization under NT will just caress the complex interactions of NT practices with improved plant nutrient management.

MATERIAL AND METHODS

Site description and Research design

The experimental site is located at the Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) experiment station at Sidi El Aydi, 15 Km North of Settat, Morocco. Sidi El Aydi station is at 33° 00' N latitude and 09° 22' W longitude, and is ~ 230 m above mean sea level. The soil is a clay soil referred to as vertic Calcixeroll. The structure is poorly developed. More characteristics of the soil are given in table 1.

Table 1. General soil properties of the Sidi El Aydi soil in 1987

Property	Description (0 - 200 mm)
Soil type	Vertic calcixeroll
Slope	Less than 1 %
Clay (g kg ⁻¹)	530
Silt (g kg ⁻¹)	255
Sand (g kg ⁻¹)	215
Gravel	Less than 1 %
Texture	Clay
pH (water)	8.25
Organic carbon (g kg ⁻¹)	13
Inorganic carbon (g kg ⁻¹)	200
Total soil carbon (g kg ⁻¹)	213
Average dry bulk density (Mg m ⁻³)	1.22
Soil moisture at 0.3 bar (m ³ m ⁻³)	0.38
Soil moisture at 15 bars (m ³ m ⁻³)	0.19

The climate is semiarid with a winter rainfall pattern. The long-term average annual precipitation is 358 mm with a maximum of 740 mm and a minimum of 128 mm. The average rainfall from 1986 to 1998 is only 296 mm (Yacoubi et al., 1998). Average precipitation and minimum and maximum air temperatures are given in Table 2.

In this site, a long-term experiment was conducted to search on the effects of various rotation and tillage systems on wheat production. The experiment started in 1987-88; the treatments had been in place for 11-yrs at the beginning of sampling (Kacemi et al., 1995). The experimental design was a split plot arrangement in a randomized incomplete block design, and each treatment replicated three times. Factors investigated were rotation,

assigned to the whole plots, tillage applied to the subplots. Rotations studied were continuous wheat (WW), Wheat-Fallow (WF), Fallow-Wheat-Corn (WCF), Fallow-Wheat-Forage (WFF) and Fallow-Wheat-Lentils (WLF). Each phase of a rotation was present every year and each treatment was cycled on its assigned plots.

Table 2. Monthly average precipitation and air temperatures 1967-1998

Month	Temperature (° C)		Rainfall (mm)
	Mini	Maxi	
January	6.0	20.0	59
February	7.2	21.3	56
March	8.7	23.7	46
April	10.3	25.3	40
May	12.7	27.4	14
June	15.9	30.6	3
July	18.0	34.4	1
August	20.2	31.8	0
September	18.2	31.6	5
October	12.8	28.7	27
November	10.1	24.1	49
December	8.4	21.4	58
Total or average	12.4	26.7	358

The sub-plots were 6x30 m. The tillage treatments were no-tillage (NT) and reduced tillage with V-Blade Sweep (1987-1993) and changed to conventional tillage (CT) with off-set disk harrow (1993-to present). The conventional tillage system (CT) consisted of one or two passes with an off-set disk harrow for seedbed preparation and several passes for weed control in fallow phases. Depth of off-set disk tillage was in the range of 100-150 mm, depending upon the conditions of the soil at the time of tillage. The only soil disturbance in NT occurred during seeding and fertilizer banding operations.

Crop management

A no-till drill equipped with coulters, double-disk openers and single press wheels was used to plant wheat, lentils and vetch-oat (forage crops). Wheat was drilled at a rate of 120 kg ha⁻¹ on mid-November of each year. The same drill was used for lentils and vetch-oat. Lentils was planted 400 mm apart at a rate of 60 kg ha⁻¹ and vetch-oat at 120

kg ha⁻¹. Corn was planted either using a commercial 4-row no-till planter or manually. Corn was planted in rows spaced 600 mm apart and thinned to 60-65 thousands plants per hectare. Corn planting date ranged from mid-February to mid-March depending on possibilities to access to the field. All crop varieties are adapted to the environment of Sidi El Aydi.

Fertilizer applications were as follows: for wheat, vetch-oat and lentils: ammonium nitrate, at a rate of 75 kg of material per hectare, and triple superphosphate, at a rate of 50 kg of material per hectare, were placed in the seed row as starter fertilizers. Additional urea fertilizer was surface broadcast at tillering stage of wheat (50 kg of material per hectare). For corn, ammonium nitrate, at 100 kg per hectare, and triple superphosphate, at 50 kg of material per hectare, were applied at planting. Soil tests at Sidi El Aydi are high in K and therefore K fertilizer was not necessary. These application rates ensured that nutrients (N, P and K) were not limiting production since no deficiency symptoms occurred. An application of glyphosate at a rate of 3-4 l ha⁻¹ was made to control any standing vegetation prior to planting of crops and in fallow. Before seeding, all wheat, forage and fallows plots were sprayed with chlorosulfuron herbicide at a rate of 10 g ha⁻¹. Corn and lentils were sprayed at seeding with simazine at rate of 1.5 and 1 l ha⁻¹, respectively. The use of these herbicides provided good weed control throughout the crop growing seasons and in fallow. Carbofuran was used on all crops to avoid insect damage, mainly hessian fly in wheat (at 25 kg per hectare).

Soil sampling and preparation for analysis

The samples were collected from the non-traffic areas between the crop rows before cultivation and sowing during July 1998 in Fallow phases of all rotations and in Wheat-Wheat (WW). Samples of the topsoil zones at depth of surface (0-25 mm); near surface (25-70 mm); and subsurface (70-200 mm) were collected. Two random cores from each depth in fallows and 4

random cores in WW were brought into the laboratory. All 3 replicates were sampled. The sample was air-dried and sieved to pass 2 mm screens. For soil organic matter and total nitrogen, the soil was ground and sieved to 200 μm . For other measurements, 2 mm sieved samples were used. At the time of sampling, the CT fallow plots have not been plowed since winter 1998 (150 days before sampling).

Measurements and methods

Soil measurements taken were soil organic matter, total nitrogen, phosphorus, potassium and pH. All analyses were done in duplicates. Soil organic carbon was appreciated using the wet oxidation method of Walkley and Black (Nelson and Sommers, 1996). Organic carbon was converted to soil organic matter (SOM) by the multiplication factor of 1.724. Total Nitrogen was determined using the semi-micro Kjeldahl digestion method (McGill and Figueiredo (1993)). Soil pH (1 : 2, soil : water) was measured using a pre-calibrated glass electrode (McLean (1982)). Each sample was analyzed for NaHCO-extractable soil P (Olsen P, Azzaouia et al., (1989)). Exchangeable potassium was measured using method of Knudsen et al., (1982).

Statistical analysis

The data were statistically analyzed as a split-plot design for each depth using the GLM procedure of the Statistical Analysis Systems. Analysis of variance was utilized to find significance of effects of tillage and rotation on soil quality attributes and a Least Significance Difference Test (LSD) was used to seek differences among treatments (p level of 5%).

RESULTS AND DISCUSSION

Soil Organic Matter SOM

Soil organic matter maintenance in semiarid Morocco is clearly one of the greatest constraints in the development of sustainable agro-ecosystems, particularly since the crop residues are

important source of animal feed, fuel and for cooking. Soil organic matter can be used as an indicator of change in soil quality. Lal (1997) stated that from 1.5 to 4.9 Pg C may be sequestered in the soils of the world if Conservation tillage is adopted. Improved N, P, and K and overall soil fertility can result in concomitant improvements in SOM. If C is increasing it generally indicates that erosion has been diminished and that C soil additions exceed C losses.

In Table 3, WW had higher SOM for both surface horizons, however WFF presented equal or better organic sequestration in the 3rd depth and in 0-200mm than WW. WFF helped to maintain more organic carbon than WF in all depths. For the entire profile (0-200 mm), WFF sequestered more SOM, followed by WLF and WW. Contribution of WLF and WCF to SOM was random among soil depths, which could be due to root pattern and morphology of these crops. Wheat-Fallow system, of great importance for stabilizing wheat yields through water conservation and deep storage, has resulted in SOM reduction compared to WW. However, the 3-year rotation tended to alleviate this problem, while keeping the fallow for wheat yield improvement as shown in Table 3. The crop morphological characteristics and residue type affected SOM, as already outlined by Diné and Gregorich (1995). These results agreed with responses of Wood et al. (1991) who reported higher level of organic carbon under a wheat-corn-millet-fallow rotation compared with a wheat-fallow rotation, after only 3.5 years.

Total carbon content was higher in the 0-25 mm and 25-70 mm depths in NT than in CT. Elimination of soil mixing in NT lead to a concentration of organic matter at the soil surface. SOM is higher in the entire profile (0-200 mm) under NT, which helped to conclude that there is a stratification of SOM in surface horizons without any depletion of it at deeper horizon compared to treatments receiving tillage (Table 3). Unger (1989) found higher concentration of SOM in (0 - 40) mm depth under NT than CT for a Pullman clay loam soil. However, for other depths (40-70 and 140-170 mm),

CT had higher SOM than NT. Initially, in 1987 the original SOM was 56.58 Mg ha⁻¹ using an average soil bulk density of 1.23 Mg m⁻³ (Kacemi, 1992) for the 0-200 mm horizon (Table 1). NT has increased the SOM by 14 % during the 11-yr period, however CT has increased it by only 3 %. In other terms, the average total increase in SOM for the (0-200 mm) for NT and CT was 8 and 2 Mg ha⁻¹, respectively. The 3% positive change under CT can be explained by recent (1993) shift from stubble mulch tillage with sweep to CT and also by total incorporation of straw, stubble and root residues by tillage tools (no exportation of residues from the plots by grazing or other means). In a review by Janzen et al. (1998), no-till permitted from 0 to 7.5 Mg C ha⁻¹ of gain depending on site location and after 8 to 16 years. Campbell et al. (1996a) found 3 Mg ha⁻¹ of sequestered carbon in the horizon (0-150 mm) of a clay soil after 11 years of continuous NT-wheat, in Canada. Campbell et al., (1996b) did not find any gain from continuous NT wheat under a coarse-textured soil. The magnitude of change in SOM due to NT and crop intensification depend on soil texture. These authors showed a positive correlation between clay content and SOM gain under NT system. Hassink (1997) showed that clay and silt content affect soil capacity to store carbon and hence clay soil can respond more to addition of sources of C, such as plant residues and manure.

The high clay content of Sidi El Aydi soil explains this high storage of carbon under NT. Low storage of C under CT was probably due to high oxidation rates, release of organic compounds to the soluble form, and greater microbial activity. Another possible factor contributing to differences in SOM between NT and CT, can be the moderately higher residue and root biomass returned to the soil under NT and distinct advantage in total dry-matter production of NT (Bouzza, 1990). Karlen et al. (1994) measured twice total C under NT than under chisel or disk plow tillage for the 0-25 mm depth of a silt loam soil. Janzen et al. (1998) recommended reduction in fallow intensity in favor to more

cropping intensification for enhancing SOM, as proposed by Farahani et al., (1998) for better use of precipitation..

Increasing cropping intensity increased residue cover. Hence, the rotation directly affect the building of soil quality factors such as structure and organic matter through maintenance of high surface residue amounts. Residue amounts increased 76 percent by increasing cropping system intensity from a WF system to WCF at three research station in Eastern Colorado (Peterson et al., 1999). This could explained the importance in our station of 3-yr rotation in improving soil carbon compared to WF. In this site, Lahlou (1999) found higher aggregation under WW and WFF when using NT.

has happened. In other ways, NT conserved more nitrogen in 0-70 mm than CT. However, these tillage systems had equal nitrogen content at 70-200 mm. For 0-200 mm, significantly more nitrogen is found in NT than CT. In other words, like total organic C, total N concentrations were higher in NT than in CT in 0-25 mm and 25-70 mm (P = 0.05) (Table 3). Hence, the CT has accelerated breakdown of organic matter however NT helped an accumulation of organic N materials near soil surface. High total N values under NT than CT imply that N was incorporated in microbial biomass near the soil surface and less is available for mineralization or leaching. Power and Peterson (1998) showed that under no-till fallow

experiment by Angers et al. (1993) did not indicate influence of tillage system on organic C and N contents at any depth of a silt loam soil. Campbell et al. (1998) found that NT helped WF to store more carbon and nitrogen than continuous wheat after 11-yr of experimentation on a clay soil in southwestern Saskatchewan, Canada. This has also happened for WFF in this experiment. However, in a silt loam of the same region, difference among tillage and cropping systems were not significant in terms of soil C and N. These two soil quality indexes were not find sensitive to soil management after 12-yr of study (Campbell et al., 1999). Lamb et al. (1985) reported that most differences in N content among tillage systems were in the 0-100 mm

Table 3. Total Nitrogen and Soil Organic Matter as Affected by wheat rotation and tillage

Horizon Depth	0 - 25 mm		25 - 70 même		70 - 200 mm		0 - 200 mm	
	TSOM ^a	TOTAL-N ^b	TSOM	TOTAL-N	TSOM	TOTAL-N	TSOM	TOTAL-N
Rotation								
WW	12.22 A ^c	0.57 A ^c	15.41 A	0.85 A	35.10 BC	2.14 A	62.73 A	3.56 A
WF	9.13 BC	0.46 C	13.33 B	0.83 AB	37.55 AB	2.09 A	60.01 B	3.38 B
WFF	10.09 B	0.48 BC	14.68 A	0.79 BC	38.43 A	2.05 A	63.20 A	3.32 B
WCF	10.28 B	0.50 B	13.57 B	0.75 C	34.22 C	2.07 A	58.07 C	3.32 B
WLF	9.06 C	0.47 BC	13.57 B	0.76 C	40.19 A	2.11 A	62.82 A	3.34 B
Tillage								
NT	12.44 A	0.57 A	14.46 A	0.84 A	37.38 A	2.11 A	64.28 A	3.52 A
CT	7.72 B	0.42 B	13.89 B	0.75 B	36.86A	2.11 A	58.47 B	3.28 B
Average	10.08	0.50	14.18	0.79	37.12	2.11	61.37	3.35

^aTSOM = Total Soil Organic Matter (Mg ha⁻¹)

^bTOTAL-N = Total Nitrogen (Mg ha⁻¹)

^cIn each column, values followed by same letter are not significantly different at p=0.05 using LSD Test.

Total nitrogen

Total N concentration was influenced by both cropping system and tillage in the two surface horizons. Total nitrogen was higher under WW on all depths and for the whole sampled profile. The other rotations did not differ considerably of their nitrogen content (Table 3) for the lowest depth and for the entire profile (0-200mm). At 0-25 mm, 3-yr rotation had intermediate level of N, but lower N at 25-70mm than 2-yr rotation. Most of the differences in N among tillage systems occurred in the seed-zone (0-70 mm), where most soil disturbance

nitrogen balance was positive, however for plowed fallow some N loss occurred. They related these results to slower oxidation of organic N in the cooler, more aggregated, more moist conditions found under NT. They also found less nitrification under NT, which disfavor nitrate leaching as well. All these could explain the high nitrogen in the soil under NT in this experiment. Grant and Lafond (1994) also recorded higher concentration of nitrogen and carbon under reduced tillage systems, including no-tillage under three horizons (0-50, 50-100 and 100-150 mm) than CT. The 11-yr

top soil, because of greater disturbance under tillage; the off-set disk manipulated 100 to 120 m of soil. They also recommended reduction in soil stirring for saving nitrogen to crops.

Wheat rotations and tillage systems caused differences in total nitrogen and organic carbon, which however did not influenced appreciably C/N ratios (Table 4). Cambardella and Elliott (1992) found than NT and native-sod had equal but have higher C/N than stubble mulch and tilled fallow. High C/N under NT in the surface, explains that soil retained more C than N. High total N found under NT justify that

nitrogen losses are minimum and that more nitrogen is available to wheat under this system without heavy reliance on fertilizers.

Table 4. Ratio C/N as Affected by wheat rotation and tillage

Depth	0-25 mm	25-70 mm	70-200 mm	0-200 mm
Rotation				
WW	12.4 A	10.5 A	9.5 A	10.2 A
WF	11.5 A	9.3 A	10.4 A	10.3 A
WFF	12.2 A	10.8 A	10.9 A	11.0 A
WCF	11.9 A	10.5 A	9.6 A	10.1 A
WLF	11.2 A	10.4 A	11.0 A	10.9 A
Tillage				
NT	12.7 A	10.0 A	10.3 A	10.6 A
CT	10.7 B	10.7 A	10.1 A	10.3 A
Average	11.7	10.3	10.2	10.4

In each column, values followed by same letter are not significantly different at p=0.05 using LSD Test.

High nitrogen is an index of its availability to plants. The immobilized N is not a loss from the soil, but it is a loss from the mineral N pool. The primary mechanisms of N loss are denitrification and volatilization of broadcast urea fertilizer, which could happen under our environment for both tillage systems. Several authors found that zero-tillage produced lower crop yields than conventional tillage when N fertilizer is broadcast on surface. Malhi and Nyborg (1991) explained this by reduced availability of broadcast-applied urea N to plants under zero-tillage. In this experiment, most of the time NT yielded more than CT and possible reduction in yield was mainly due to inappropriate no-till drill used. It is less likely that these small yield reductions are due to N deficiency. Higher yields under NT (Bouzza, 1990; Mrabet, 1997) also increase nutrient removal from the soil in the harvested crops. These authors found an increased water storage efficiency with NT which increases

potential for greater grain production and nutrient needs (N, P). Obviously, at least for early seasons, the demand for N and P fertilizer inputs increases with grain production increases. The SOM mineralization, at long-term, may contributed to any insufficiency of N and P.

Soil pH

Soil pH is a valuable soil quality indicator because it affects a wide range of soil properties and mechanisms including, nutrient availability, solubility of various compounds, relative binding of ions to exchange sites, activity of micro-organisms, and control, rate and direction of key soil processes such as mineralization, adsorption-desorption and weathering. The overall average pH ranged from 7.9 at 0-25 mm to 8.2 at 70-200 mm, indicating the calcareous origin of the soil. All the treatments have favored pH decline as compared to initial pH at the start of the experiment. For all three depths, WW and WF had higher acidity than 3-yr rotations. Under both tillage systems, the surface retention or incorporation of crop residue and below-ground biomass decreased pH of the soil (Table 1). This is also reflected in gains in SOM over time (Table 3). Though, pH decline was more pronounced under NT than CT. Acidification of soil surface horizon is apparent under NT as compared with CT (Table 5). There were significant effects of rotation on pH throughout 25-200 mm profile as well, but tillage was not influential at these depths. A 0.2 unit pH difference in (0-25 mm) is very important for calcareous soils of Morocco in terms of nutrient availability for crop, specially P fertilization requirements. Franzluebbers and Hons (1996) reported the same difference at 0-50mm depth. Blevins and Frye. (1993) reported that lack of soil mixing due to no-tillage increases the acidity of surface soil, particularly if fertilizers are used. In their part, Karlen et al. (1994) noted a 0.4 pH unit difference between NT and conventional tillage with chisel and disc plow. These pH variations may affect P, Ca, and Mg

availability to crops and liming is then recommended. Bowman and Halvorson (1998) were worried about reduction in pH due to no-till build-up of SOM and abundant use of N-fertilizers under intensive cropping systems. They reflected the need to search on problems induced by pH decline such as phosphorus fixation, herbicide efficacy, aluminum toxicity and root biomass reduction. However, Laryea and Unger (1995) did not find a significant effect of tillage systems on pH at depths ranging from 0-150 to 1000-1250 mm. The same thing was concluded by Grant and Bailey (1994) for two soils.

Table 5. Soil pH (water) as affected by wheat rotation and tillage systems

Horizon Depth	0 - 25 mm	25 - 70 mm	70 - 200 mm
Rotation			
WW	7.6 B ^a	7.9 B	8.1 B
WF	7.7 B	8.0 B	8.1 B
WFF	8.0 A	8.1 A	8.3 A
WCF	8.0 A	8.2 A	8.2 A
WLF	8.0 A	8.1 A	8.2 A
Tillage			
NT	7.8 B	8.1 A	8.2 A
CT	8.0 A	8.0 A	8.2 A
Average	7.9	8.1	8.2

^a In each column, values followed by same letter are not significantly different at p=0.05 using LSD Test.

Phosphorus

No-till eliminates soil mixing, which concentrated immobile nutrients P and K in the upper soil layers (Table 6). In all treatments and for 3 depths, the P level was higher than critical level (5-9 ppm), except WCF for the third depth. The stratification of these two nutrients in the topsoil is due to the return of crop residue to the soil surface. In general, P is lower with depth. At the 0-25 mm, Olsen-P level was higher under WW than WF, WCF and WLF, but equal to WFF. At 25-70mm WLF had the lowest P while other rotations had similar P concentration. WFF has higher P than any other rotation at the lower depth (70-200mm).

NT has significantly higher P than CT in first two depths (0-25 and 25-70mm). In the subsurface horizon, 2 ppm difference was found between NT

REFERENCES USED

Allmaras, R.R., Langdale, G.W., Unger, P.W., Dowdy, R.H., and Van Doren, D. M., 1991. Adoption of conservation tillage and associated planting systems. In: Lal, R., Pierce, F.J. (Eds). Soil Management for Sustainability. pp. 53-83. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA, USA.

Angers, D.A., N'dayegamiye, A., and Côté, D., 1993. Tillage-Induced difference in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. Soil Sci. Soc. Am. J. 57, 512-516.

Azzaoui, A., Hanson, R.G., and Soltanpour, P.N. 1989. Wheat P requirements on calcareous moroccan soils: I. a comparison of Olsen, Soltanpour and CaCl₂ soil test. Commun. In Soil Science. Plant Anal. 20:869-891.

Azzaoui, A., ElMourid, M., Loudyi, M., et Ryan, J. 1993. Fertilité et fertilisation potassique au Maroc: Acquis et Perspectives d'avenir. Al-Awamia 83:241-263.

Blevins, R.L., and Frye, W.W., 1993. Conservation tillage: An ecological approach to soil management. Adv. Agron. 51:33-78.

Boisgontier, D., 1991. Supprimer le labour avant le semis du blé, c'est possible. Cultivar 305 :38-40.

Bouzza, A. 1990. Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas. PhD Diss. Univ. Of Lincoln, NE, USA. 200p.

Bowman, R.A., and Halvorson, A.D. 1998. Soil chemical changes after nine years of differential N fertilization in a no-till dryland wheat-corn-fallow rotation. Soil Science. 163:241-247.

Cambardella, C.A., and Elliot, E. T. C. A.1992. Particulate soil organic matter changes across a grass land cultivation sequence. Soil Sci. Soc. Am. J. 56 : 777-783.

Campbell, C.A., and Janzen, H.H., 1995. Effect of tillage on soil organic matter. In: Farming for a better environment. SWCS, Ankeny, IA, USA. pp. 9-11

Campbell, C.A., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 76, 395-401.

Campbell, C.A., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996b. Tillage and crop rotation effects on soil organic matter and N in a coarse-textured typical Haploboroll in southwestern Saskatchewan. Soil Tillage Res. 37, 3-14.

Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., McConkey, B.G., Curtin, D., and Zentner, R.P., 1999. Soil quality - Effect of tillage and fallow frequency. Soil organic quality as influenced by tillage and fallow frequency a silt loam soil in southwestern Saskatchewan. Soil Biol. Biochem. 31, 1-7.

Campbell, C.A., McConkey, B.G., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P., Curtin, D., and Peru, M.R., 1998. Long-term effects of tillage and fallow frequency on soil quality attributes in a clay soil in semiarid southwestern Saskatchewan. Soil Tillage Res. 46. 135-144.

and CT. In other words, Olsen-P at the end of 11 years of NT compared with CT was 66 and 17% greater at 0-25 and 25-70mm, respectively. The seed-zone has improved P due to SOM concentration which can sustain early crop vigor, but trends in P depletion with depth is likely under CT and NT. The same trend was reported by Franzluebbers and Hons (1996). The NT drill used in this experiment does not band P, but broadcast it within the seeded row. Soil phosphorus deficiency of winter wheat is common in semiarid Morocco, and hence It can be restored by improved SOM levels under NT but deep phosphorus placement is needed to encourage deep rooting, which help to produce healthy crops. Nonetheless, P deficiency symptoms were not recorded in this experiment for any crop.

P banding below the seed-zone will help improve early vigor, improves P uptake and support crop growth during the whole season. Mrabet and Bouzza (1997) used a furrow type wheat direct drill with a P and N positioning system (P banded near the seed and N positioned few centimeters apart from it) in 1997. The wheat production was significantly improved with this fertilizer placement, even though the authors experienced a shortage of rainfall during the season. It is likely that better P and N use efficiency helped to improve water use efficiency and vice-versa. The lack of mixing and the lower pH would increase the long-term availability of P under zero-tillage as compared to conventional tillage. The result suggest also that under NT and intensive rotation P recycling through residue and litter could be an important mechanism resulting in additional plant-available P.

Potassium

Extractable K exhibited a similar soil-profile distribution as that observed for Olsen-P. Residue maintenance at the soil surface helped the seed-zone to conserve high K under NT than CT. CT contents more K in the subsurface 70-200 mm than NT, which expresses that crops export more K under NT than CT. The soil contained respectively 67 and 27% greater

extractable K under NT compared with CT at 0-25 mm and 25-70 mm, but was 16% lower at depth 70-200mm (Table 6). In other words, the high K concentration in the soil surface may result from retention of K from crop residues in the surface soil due to lack of soil mixing under no-till. Higher K were correlated with increase in SOM under NT. The increased organic matter increases charge density and modifies the soil's colloidal behavior. Ismail et al. (1994) and Fransluebbers (1996) found the same type of results. Evangelou and Blevins (1985) found that simultaneous N and K fertilization resulted in preferential attraction of K over NH₄⁺ in the NT. This soil preference will result in more loss of nitrogen under NT and the authors recommended subsurface N fertilizer application and at lower rate. No K deficiency was observed even with low K levels below seed-zone under NT (lower than 150 ppm, the critical level). WW has higher K level in the 0-25 and 25-70 mm depths than other rotations and equal K level as WF in deeper horizon. Among 3-yr rotation, WFF seems to have conserved higher K in the 0-200 mm than the WCF and WLF. The difference between WF and WFF was noticeable in the 0-25 mm but not statistically significant.

Implication for fertilizer management and use

N, P, and K fertilizer recommendations and management of dryland crops in morocco have been studied under conventional tillage. Several differences exist between CT and NT production systems related to water Conservation, nutrient cycling, and consequently fertilizer management. No-till and surface residue cover inhibited loss of organic matter from the soil. Identifying an increase in SOM after a period of 11 years is the most important finding of this soil-test evaluation. The reason for this is that Moroccan semiarid soils generally have very low organic matter content and small change in SOM can have substantial effects on nutrient and water retention (Mrabet et al., 1993). In addition SOM is a storehouse of plant nutrients and hence may help to

REFERENCES USED

- Cannell, R.Q., Davis, D.B., Mackney, D., and Pidgeon, J.D. 1978. The suitability of soils for sequential direct drilling of combined-harvested crops in Britain: a provisional classification. *Outlook on Agriculture* 9:306-316.
- Carefoot, J.M., Nyborg, M., and Lindwall, C.W. 1990. Differential fertilizer N immobilization in two tillage systems influences grain N concentration. *Can. J. Soil Science* 70:215-226.
- Derpsch, R. 1998. Historical review of no-tillage cultivation of crops. JIRCAS Working Report No. 13.
- Dinel, H. and E. Gregorich. 1995. Structural stability status as affected by long-term continuous maize and Bluegrass sod treatments. *Biological Agric. and Horticulture*. 12:237-252.
- Dowdell, R.J., Crees, R., and R.Q. Cannell. 1983. A field study of contrasting methods of cultivation on soil nitrate content during autumn, winter and spring. *J. Soil Science*. 34:367-379.
- Evangelou, V.P., and Blevins, R.L. 1985. Soil solution phase interactions of basic cations in long-term tillage systems. *Soil Science. Soc. Am. J.* 49:357-362.
- Farahani, H.J., Peterson, G.A., Westfall, D.G., 1998. Dryland cropping intensification: A fundamental solution to efficient use of precipitation. *Adv. In Agron.* 64, 197-223.
- Franzluebbers, A.J., and Hons, F.M. 1996. Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no-tillage. *Soil & Tillage Research* 39:229-239.
- Grant, C.A., and Bailey, L.D., 1994. The effects of tillage systems and KCl addition on pH, conductance, NO₃-N, P, K, and Cl distribution in the soil profile. *Can. J. Soil Sci.* 74, 307-314.
- Grant, C.A., and Lafond, G.P., 1994. The effects of tillage systems and crop rotations on soil chemical properties of a Black Chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* 74, 301-306.
- Groffman, P.M. 1984. Nitrification and denitrification in conventional and no-tillage soils. *Soil Science. Soc. Am. J.* 49:329-334.
- GTZ, 1998. Conserving natural resources and enhancing food security by adopting no-tillage. An assessment of the potential for soil-conserving production systems in various agro-ecological zones of Africa. GTZ Eschborn, Tropical Ecology Support Program. TOB publication number: TOB F-5/e. 53p.
- Halvorson, A.D. 1991. One-shot phosphorus gives years of high returns. *Colorado Rancher & Farmer* 45(3):60-61.
- Halvorson, A.D., and Havlin, J.L. 1992. No-till winter wheat response to phosphorus placement and rate. *Agron. J.* 56:1635-1639.
- Hassink, J., 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt. *Plant Soil* 191, 77-87.

reduce dependence on mineral fertilizers.

The increase in organic C and total N under NT varied with rotation. The high levels of SOM and N under NT and particularly under WFF, also express or correlate well with abundant microbial biomass and available plant nutrients. High C/N under NT in the surface, explains that soil retained more C than N. This is due to slow decomposition of surface than incorporated residues. High total N found under NT justify that nitrogen losses are minimum and that more nitrogen is available to wheat under this system without heavy reliance on fertilizers. Accumulation of nitrogen in the soil indicates that more N is being added to the system than is being removed.

in NT systems requires that the contact between fertilizer and crop residue be minimized by placing N below the surface mulch and preferably below the zone of the highest level of SOM, immediately below the mulch layer. Hence, broadcast applied urea is less effective under zero-tillage compared with CT. Placement of fertilizer N in bands below the surface may reduce NH₃ volatilization and N immobilization.

The seed-zone has improved P due to SOM concentration which can sustain early crop vigor, but trends in P depletion with depth is likely under NT. Soil phosphorus deficiency of winter wheat can be corrected by improved SOM levels under NT (P recycling through residue and litter) but deep phosphorus placement is

Table 6. Olsen-P and exchangeable K as Affected by wheat rotation and tillage

Depth	0-25 mm	25-70 mm	70-200 mm	0-25 mm	25-70 mm	70-200 mm
	Olsen P (ppm)			Exchangeable K (ppm)		
	Rotation					
WW	27.6 A	20.3 A	8.8 BC	475.3 A	315.1 A	181.5 A
WF	21.6 B	17.8 AB	10.9 AB	362.6 B	262.5 B	183.6 A
WFF	26.7 A	18.9 A	12.2 A	379.6 B	269.6 B	157.7 à
WCF	22.4 B	17.9 AB	7.7 C	340.9 B	269.9 B	139.8 à
WLF	21.4 B	14.8 B	9.3 BC	343.1 B	254.5 B	153.9 à
	Tillage					
NT	29.9 A	19.3 A	8.7 à	476.4 A	291.7 A	148.6 B
CT	18.0 B	16.5 B	10.9 A	284.1 B	256.9 B	177.9 A
Average	23.9	17.9	9.8	380.3	274.3	163.3

In each column, values followed by same letter are not significantly different at p=0.05 using LSD Test.

Crop management systems that include rotation with high residue producing crops and maintenance of surface residue cover with NT resulted in greater organic matter and total N, which may help improve soil productivity.

Low recovery of fertilizer N under NT, was attributed to immobilization of N in the mulch layer following surface application of fertilizer N. Carefoot et al., (1990) studies suggest that because of the possibility of increased immobilization of broadcast N under NT conditions, banding fertilizer N below the surface residue layer may be necessary. Efficient use of fertilizer N

needed to encourage deep rooting, which help to produce healthy crops. From these results, deep placement of fertilizer P and K may be desirable after several years of continuous no-till cropping, to provide P and K to roots growing deeper in the soil and to lessen dependence on nutrients in the soil surface layer. Halvorson (1991) suggested that a one-time, high-rate application of P fertilizer may be one way to satisfy the P needs of crops grown with no-till systems and for several consecutive years. Data of Halvorson and Havlin (1992) implied the correct addition of phosphorus to the winter wheat results in significant

REFERENCES USED

Ismail, I., Blevins, R.L., and Frye, W.W. 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Science Soc. Am. J.* 58:193-198.

Janzen, H.H., Campbell, C.A., Izaurralde, R.C., Ellert, B.H., Juma, N., McGill, W.B., Zentner, R.P., 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil Tillage Res.* 47, 181-195.

Kacemi, M. 1992. Water conservation, crop rotations and tillage systems in semiarid Morocco. PhD dissertation. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. USA. 203p.

Kacemi, M., G.A. Peterson, and R. Mrabet. 1995. Water Conservation, Wheat-Crop Rotations and Conservation Tillage Systems in A Turbulent Moroccan Semi-Arid Agriculture. International Dryland Agriculture Conference. May 1994, Rabat, Morocco.

Karlen, D.L., N.C. Wollenhaupt, D.C. Erbach, E.C. Berry, J.B. Swan, N.S. Eash and J.L. Jordahl. 1994. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil & Tillage Research* 32 :313-327.

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 4-10.

Kirkegaard, J.A. 1995. A review of trends in wheat yield responses to conservation cropping in Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 35:835-848.

Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. P225-246. In: A.L. Page et al., (eds). *Methods of soil analysis. Part 2, 2nd Edition.* Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Lahlou, S. 1999. La qualité physique du sol sous différents systèmes de travail du sol et de management des cultures en zones semi-arides Marocaines. Diplôme des Etudes Supérieures Approfondies (D.E.S.A). Faculté des sciences, El jadida, Maroc.

Lal, R. 1997. Residue management, Conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil & Tillage Research* 43:81-107.

Lamb, J.A., G.A. Peterson and C.R. Fenster. 1985. Wheat-fallow tillage systems' effect on a newly cultivated grassland soils' nitrogen budget. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 :352-356.

Laryea, K.B., P.W. Unger., 1995. Grassland converted to cropland: Soil conditions and sorghum yield. *Soil Tillage Res.* 33, 29-45.

Lopez-Bellido, L., Fuentes, M., Castillo, J.E., Lopez-Garrido, F.J., Fernandez, E.J., 1996. Long-term tillage, crop rotation, and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agron. J.* 88, 783-791.

Maillard, A., and Vez, A., 1993. Résultats d'un essai de culture sans labour depuis plus de 20 ans à Changins. 1. Rendements des cultures, maladies et ravageurs. *Revue Suisse Agric.* 25(6):327-336.

reductions of nitrate-nitrogen in the soil profile by improving utilization by the wheat plants.

This study showed lower surface soil pH under zero-till than plowed treatments. A 0.45 unit pH difference in top surface (from 8.25 (1987) to 7.8 (1998)) is of paramount importance for calcareous soils of Morocco in terms of nutrient availability for crop, specially P fertilization requirements. In the future, the development of better drills and planters with which to place fertilizers, will overcome any negative aspects of nutrient and pH stratification found under NT in this experiment. Since NT conserves more water than CT, there is a higher yield potential under NT and the recommendation for N may not be similar in its early adoption. In the first several years, NT yielding may be limited by the supply of available N but lower N availability under NT to crop is a transient effect only.

CONCLUSIONS AND ADDITIONAL RESEARCH

The present study showed that elucidation of differences in the chemical behavior of no-till vs. Conventionally tilled soil systems is necessary for developing the most efficient fertilizer management method for no-till production system. In fact, the contrasting management practices produced distinct physico-chemical changes in the soil over the 11-yr period. When no-tillage systems are implemented, several soil properties of the plow layer are changed. The amount of change is directly related to the reduction of tillage. Among important soil quality results are: stratification with sequestration of soil organic matter in top horizon, high level of nutrients, acidification, and also good soil structure, lots of pores, high soil moisture (data shown in Lahlou, 1999). In other terms, NT enhanced Conservation and availability of primary nutrients near the soil surface. These changes influence directly or indirectly microbial activity which helps in nutrient cycling. The magnitude of change is dependent on cropping intensification, where reduction in fallow help to sustain this change.

In summary, both tillage and rotation had significant effect on soil C and N accumulation, primarily at the surface. This increase in SOM induced an improvement and stratification of P and K in no-tillage compared to conventional tillage for all rotations. Under NT, adequate levels of N are essential to get full benefit from P fertilization, regardless of the P application method and vice-versa. With this system, balanced N and P reduce the potential for nitrate contamination of groundwater, because of increased N use efficiency by the crops.

N and P fertilization was identical for both tillage systems without any appearance of deficiency symptoms. This help to suggest that P and N were at sufficient levels to reach potential yields under both tillage practices and that SOM may have helped to satisfy any lack of these nutrients under NT. The hypothesis of adding fertilizer in excess of than normally recommended for conventional tillage to satisfy crop requirements under NT is not justifiable. This assumes that N losses were not very important and N immobilization was of short time.

Information on P fertilizer placement and rate effects on winter wheat produced within no-till systems is needed. However, it is unlikely that higher P rates would be required with a zero tillage system.

Development of research in no-till cropping methods and machinery will help emergence of direct drilling methods for seeding through residues and simultaneously placing fertilizer at required depths. Dual placement of P and N under NT is also a research area to seek advantages on crop production, energy use and cost. Banding N fertilizer is the required option under NT, but at sufficient rate to avoid seedling injury.

Site specificity of NT will generate a need to consider soil physical properties in elaborating soil test recommendations (i.e. soil texture and clay minerals). The soil of Sidi El Aydi may be at sufficient levels of P and K, and crop response to deficiency were not striking. We need to show crop response to P and K for low soil test

levels and develop a calibration and recommendations program for NT under various cropping systems.

A comprehensive analysis of tillage practices effects on the timing, rates and distribution of nitrification and denitrification activities is required in soils under a wide range of conditions. Also organic P mineralization should be considered as a supplier of P to crops, since high P level may associate with incorporated P in microorganisms as well.

Acknowledgement

The International Foundation for Science IFS is acknowledged for its financial support to first author (Dr Rachid Mrabet) under a grant number C/2942-1.

REFERENCES USED

- Malhi, S.S., and Nyborg, M.** 1991. Recovery of 15N-labelled urea: influence of zero tillage, and time and method of application. *Fertilizer Research* 28:263-269.
- Mann, L.K.** 1986. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science*. 142:279-288.
- McGill, W.B., Figueiredo, C.T.,** 1993. Total nitrogen. In: Carter, M.R. (ed.). *Soil sampling and methods of analysis*. Can. Soc. Soil Sci. Lewis Publishers. pp 201-211.
- McLean, E.O.,** 1982. Soil pH and lime requirements. In: *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*. In: Page et al. (eds.). American Society Agronomy Monograph, 2nd ed., Madison, Wisconsin. pp. 199-244.
- Mrabet, R., Bouzza, A., Peterson, G.A.,** 1993. Potential reduction of soil erosion in Morocco using no-till systems. *Agron. abstract* p. 323 Am. Soc. Agron. Madison, WI, USA.
- Mrabet, R.,** 1997. Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semiarid area of Morocco. PhD Dissertation. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. USA. 220p.
- Mrabet, R. et Bouzza, A.** 1997. Conservation de l'eau sous différentes rotations céréalières et systèmes de gestion des résidus de récolte en semi-aride. INRA Report. Aridoculture Center.
- Nelson, D.W., and Sommers, L.E..** 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of soil analysis part 3. Chemical methods*, SSSA Book Series no. 5.
- Power, J.F., and Peterson, G.A.,** 1998. Nitrogen transformations, utilization, and Conservation as affected by fallow tillage method. *Soil Tillage. Res.* 48, 37-47.
- Rice, C.W., and Smith, M.S.** 1983. Nitrification of fertilizer and mineralized ammonium in a no-till and plowed soil. *Soil Science. Soc. Am. J.* 47:1125-1129.
- Smith, J.L., and L.F. Elliott.** 1990. Tillage and residue management effects on soil organic matter dynamics in semiarid regions. *Advances in soil science*. 13:69-88.
- Soltanpour, P.N., El Gharrou, M., Azzaoui, A., and Abdelmonem, M.** 1989. Response of dryland wheat to P rates and placement methods. *Commun. In. Soil Sci. Plant Anal.*, 20:597-605.
- Unger, P.W.,** 1989. Organic matter, pH, and nutrient distribution in no- and conventional-tillage soil. *Agron. Abstr., Am. Soc. Agron., Madison, WI*, p. 296.
- Wood, C.W., D.G. Westfall, and G.A. Peterson.** 1991. Soil carbon and nitrogen changes on initiation of no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 :470-476.

SITUATION ACTUELLE DE L'ETAT DE LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS DU PERIMETRE IRRIGUE DES DOUKKALA

NAMAN F.¹, SOUDI B.² et CHIANG C.³

RESUME

Cette étude a été conduite sur des sols à caractères contrastés et représentatifs du périmètre irrigué des Doukkala. Elle consiste à évaluer les causes de déperdition de la matière organique des sols sous intensification agricole. Ces pertes ont été identifiées suite à la détermination des teneurs en matière organique et de sa composante azotée dans des situations contrastées du point de vue, du type de sol et de la durée de mise en eau. Les résultats trouvés montrent une perte moyenne en matière organique de 48% pour une durée de mise en eau de 30 ans. Les pertes pour l'azote total et l'azote hydrolysable sont de l'ordre de 13% et 40% respectivement, ceci pour une période de mise en eau de 5 ans, et s'élèvent à 47% et 69% de l'azote total et de l'azote hydrolysable pour une période de 30 ans. La totalité de la perte en azote total est sous forme hydrolysable. Quant au type de sol, les pertes en matière organique et en azote se sont avérées plus élevées dans les sols sableux.

Une autre voie de perte de la matière organique a été détectée, qui réside dans les tares de sols collés sur les pivots de la betterave à sucre. La perte est d'autant plus importante que la teneur en argile est importante. Les résultats trouvés montrent une perte moyenne annuelle de 0.03 tonne de matière organique de sol par hectare dans le périmètre irrigué des Doukkala.

Mots clés : intensification agricole- matière organique- sol- périmètre irrigué- Doukkala.

I- INTRODUCTION

Ces dernières décennies, le principal objectif de l'agriculture était d'atteindre les niveaux de production les plus élevés possibles. Les techniques mises en oeuvre (fertilisation, mécanisation, irrigation, traitements phytosanitaires) ont effectivement permis d'obtenir des productions jamais atteintes auparavant dans de nombreuses filières. Cette augmentation s'est souvent faite au détriment du principal outil de production qui est le sol et parfois même au détriment de la qualité de l'environnement.

Au Maroc, l'intensification de la mise en valeur agricole des sols en zones irriguées, arides et semi-arides, s'est fortement accentuée ces dernières années. Elle a généré une détérioration de la qualité des sols et des eaux souterraines. Les processus de dégradation les plus saillants et les plus communs, résident dans la salinisation des terres et la pollution nitrique des eaux. A côté de ces fleaux, vient s'ajouter un problème crucial qui se traduit par une perte significative du patrimoine humique du sol. Ce phénomène amplifie les autres processus de détérioration de la qualité des sols.

Dans la plaine des Doukkala se trouve l'un des plus anciens périmètres irrigués du Maroc. Dès, 1952, le casier de Faregh a été aménagé pour l'irrigation gravitaire. Les autres secteurs de la région ont été progressivement mis en eau au cours des 46 dernières années. Cette transformation de type d'agriculture ne

s'est pas faite sans effet sur l'état structural et sur le taux de matière organique des sols. Cet effet, serait d'autant plus marqué que la date de mise en eau est ancienne. De même les diverses pratiques agricoles et les propriétés intrinsèques du sol détermineraient la tendance et la cinétique de cette évolution.

L'objet de ce travail est d'étudier l'impact de l'intensification agricole des sols sur la dynamique de la matière organique et de sa composante azotée dans différents sols contrastés sous irrigation dans le périmètre des Doukkala. Dans cette optique et afin de faire ressortir certains éléments explicatifs des déperditions de la matière organique, des comparaisons des teneurs en matière organique ont été effectuées dans différents contextes agro-pédologiques.

II- MATERIELS ET METHODES

La région des Doukkala fait partie du Maroc atlantique. C'est une vaste plaine inclinée régulièrement du SE au NW. Le climat est du type méditerranéen semi-aride. La pluviométrie moyenne annuelle est de 330 mm est enregistrée en moyenne entre octobre et mai. La température moyenne annuelle s'élève à 18.5 °C. Les principaux types de sol appartiennent à six classes (Badraoui et al., 1993) selon la classification française (CPCS, 1967); les sols peu évolués; les vertisols, les sols calcimagnésiques, les sols isohumiques, les sols fersial-litiques et les sols hydromorphes. Les modes d'irrigation, largement utilisés, sont de deux types bien distincts : gravitaire dans les casiers de Faregh et de Sidi

¹ Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, Département de Biologie, B.P.20, Km 1, Route Ben Maàchou, El Jadida, Maroc.

² Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département des Sciences du sol, Rabat, Maroc

³ Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique.

Bennour et aspersif dans les casiers de Zemamra et Gharbia.

Quatre types de sol contrastés et représentatifs de la région ont été échantillonnés sur une profondeur de 20 cm d'épaisseur. Leurs caractéristiques sont indiquées au tableau 1.

Les sols ont été séchés à l'air puis tamisés à 2 mm. L'analyse granulométrique a été faite par la méthode de la pipette (Day, 1965) ; le pH a été mesuré dans une suspension sol : eau de 1 : 2.5 ; le carbone organique et l'azote organique sont analysés respectivement par la méthode Walkley-Black (Jackson, 1958a) et la méthode Kjeldhal (Jackson, 1958b) et l'azote hydrolysable a été déterminé par la méthode de Bremner (1965) et modifiée par Stevensen (1982), elle consiste à hydrolyser l'azote en présence de HCl 6N.

III- RESULTATS ET DISCUSSION

3.1-Evolution de la matière organique en fonction du type de sol

L'examen du graphique 1 a permis de faire ressortir la tendance d'évolution de la matière organique dans les principaux types de sol.

Tableau 1. Principales caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés

Sol	S%	L%	A%	C%	N%	C/N	pH
Sidi Bennour							
1	38.82	31.1	30.08	0.80	0.110	7.25	8.1
2	46.87	24.05	29.04	0.80	0.104	7.66	7.9
3	55.85	16.33	27.82	1.02	0.123	8.23	7.8
4	59.87	23.35	16.78	0.42	0.064	6.50	7.7
5	47.13	28.51	24.36	0.51	0.081	6.29	8.0
6	59.87	23.35	16.78	0.28	0.041	6.81	7.7
Faregh							
7	39.83	38.13	22.04	0.72	0.098	7.35	7.6
8	67.20	16.42	16.38	0.91	0.075	12.10	7.7
9	39.91	51.55	8.54	0.47	0.044	10.47	7.2
10	78.57	8.93	12.5	0.45	0.064	6.96	7.6
11	84.86	5.98	9.16	0.34	0.055	6.08	7.2
Zemamra							
12	39.30	52.15	8.55	0.49	0.054	8.97	7.4
13	80.01	5.31	14.68	0.55	0.082	6.65	7.6
14	63.28	28.22	8.50	0.51	0.079	6.40	7.8
15	66.45	9.858	23.70	0.76	0.083	9.15	7.8
16	10.94	68.56	20.05	0.60	0.098	6.12	7.7
Gharbia							
17	35.70	20.66	43.64	0.57	0.065	8.70	7.6
18	39.6	21.3	39.1	0.77	0.101	7.62	7.9
19	37.04	43.94	19.02	0.96	0.106	8.99	7.9
20	37.97	39.08	22.95	0.62	0.076	8.15	7.9

Les teneurs en matière organiques enregistrées sont de 1.48 ; 0.93 ; 0.91 et 0.86 respectivement pour le vertisol, isohumique, peu évolué et fersiallitique. On note que seul le vertisol présente en moyenne une teneur en matière organique élevée par rapport aux autres types de sol. Les taux de perte après 10 ans pour le vertisol ; le sol peu évolué, le sol isohumique et le sol fersiallitique sont respectivement de l'ordre de 8.9; 5.2; 12.4 et 20.8%

Les pertes se sont avérées plus élevées dans les sols sableux et dans les sols peu évolués. Ceci peut être expliqué par la faible fraction d'argile qui est susceptible de garantir une protection relative de la matière organique par les associations entre les colloïdes minéraux argileux. Cambardella et Elliot (1994) expliquent la perte en matière organique dans les fractions grossières par le fait que la matière organique associée à ces fractions est plus labile et donc se décompose plus facilement.

On constate cependant que, les sols étudiés restent pauvres en matière organique et en azote. Ceci est attribué à la mise en valeur intensive qui n'est pas accompagnée d'une gestion adéquate des résidus de culture.

En effet, dans la plupart des périmètres irrigués, et particulièrement dans les Doukkala à vocation betteravière, les résidus de récolte sont généralement exportés des parcelles. Ajoutons, que la température et l'irrigation assurent des conditions thermiques et hydriques optimales pour la minéralisation. Ce phénomène est amplifié par les travaux de sol fréquents qui augmentent l'accessibilité de la matière organique à la biodégradation.

3.2- Evolution du taux de matière organique en fonction de la durée de mise en eau

Le graphique 2 permet de visualiser l'évolution du taux moyen de matière organique dans l'horizon (0-20 cm) en fonction du nombre d'années de mise en irrigation. Il est observé, un taux de matière organique de l'ordre de 0.77%; 1.11%; 1.24% et 1.48% respectivement après une durée de mise en eau de 46 ans; 23 ans; 21 ans et 16 ans soit une perte moyenne de 48% de matière organique en 30 ans. La perte en matière organique avec l'intensification agricole est due essentiellement à l'activation de la biomasse microbienne, à la minéralisation du carbone organique

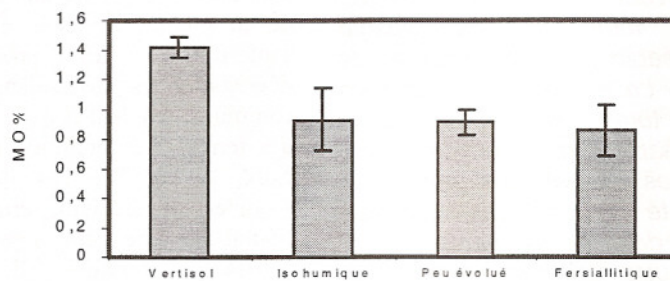


Fig. 1: Taux de matière organique par type de sol

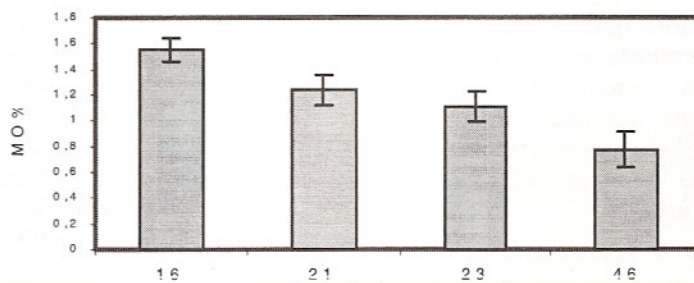


Fig. 2: Taux de matière organique par durée de mise en eau

suite à l'aération du sol sous l'effet des travaux répétés du sol (Goldin et Lavkulich, 1990), ainsi qu'à la non restitution des résidus de culture au sol. Les teneurs en azote total et en azote hydrolysable des sols exprimées en % pour différentes périodes de mise en eau sont présentées dans le tableau 2.

ainsi, la totalité de la perte en azote total est sous forme hydrolysable. En d'autre terme la perte en azote au cours de l'intensification agricole se fait essentiellement dans la fraction hydrolysable qui correspond à la fraction d'azote total facilement biodégradable.

Pour cela, il a été procédé à une quantification des teneurs en matière organique dans les fractions granulométriques situées entre 0,05 et 2 mm.

Lorsqu'on exprime cette répartition en courbes cumulatives (figure 3), on constate que 60% de la matière organique de ces sols est concentré dans des particules de sol les plus fines dont le diamètre est inférieur à 0,25 mm. Ces résultats sont en accord avec ceux de Turchenek et Oads (1979) qui montrent que la matière organique est concentrée dans les fractions les plus fines.

A la base d'un peuplement de 90 000 pieds/ha nous avons constaté que les betteraves qui poussent sur un vertisol présentent une tare de 4,35 t/ha. Cette valeur descend à 3,23 t/ha et 2,63 t/ha respectivement pour l'isohumique et le peu évolué, alors que le sol sableux présente la valeur la plus faible de l'ordre de 1,96 t/ha.

Si on considère que le vertisol, l'isohumique, le peu évolué et le fersiallitique représentent respectivement 30%, 36%, 16,5% et 6,7% de la superficie irriguée des Doukkala, la superficie betteravière annuelle dans cette région est de 20 000 ha, entraîne au moment de l'usinage une perte d'environ 26 100, 23 256, 8679 et 2626 tonnes de sol respectivement pour le vertisol, l'isohumique, le peu évolué et le fersiallitique. Ainsi, sur la base d'un taux moyen de matière organique calculé pour chaque type de sol

Tableau 2. Teneurs en azote total et en azote hydrolysable pour différents types de sols et différentes périodes de mise en eau

Variables étudiées		N-Total (%)	*NH (%)	NH/N-Total (%)	CO (%)	C/N
Durée de Mise en eau	16 ans	0,093a	0,075a	76,3	0,60a	6,77
	21 ans	0,081b	0,039b	48,1	0,54b	6,66
	23 ans	0,065c	0,034b	52,3	0,47c	7,23
	46 ans	0,049d	0,024b	48,9	0,31d	6,32
Type de sol	Vertisol	0,088a	0,054a	61,4	0,60a	6,83
	Isohumique	0,061b	0,043a	70,5	0,41b	6,72
	Peu évolué	0,060b	0,039a	65,0	0,38b	6,33
	Fersiallitique	0,054b	0,024b	44,4	0,37b	6,85

*NH : Azote hydrolysable avec HCl 6N

Les moyennes suivies par la même lettre au sein de chaque colonne ne diffèrent pas significativement au niveau de probabilité 0,05.

Nous constatons que la durée de mise en eau des sols occasionne la baisse de la teneur en azote totale et en azote hydrolysable.

Ces pertes sont de l'ordre de 13% et 40% respectivement pour l'azote total et l'azote hydrolysable, ceci pour une période de mise en eau de 5 ans, ces pertes s'élèvent à 47% et 69% pour l'azote total et pour l'azote hydrolysable sur une période de 30 ans. Il a été également montré par Soudi (1988) que les faibles teneurs en azote chimiquement hydrolysable et en acides aminés dans la zone irriguée de Tadla comparativement à Chaouia (zone d'agriculture pluviale), seraient liées à l'épuisement des formes facilement biodégradables de l'azote organique. Les pertes en azote total restent comparables à celles du carbone organique et par conséquent le rapport C/N n'évolue pas avec l'intensification agricole. La perte en azote hydrolysable total dépasse celle en azote, et par conséquent le rapport NH/NT qui représente le pourcentage de l'azote sous forme hydrolysable diminue avec la période de mise en eau. D'autre part les pertes en azote hydrolysable par rapport à l'azote total dépasse de loin la perte en azote total,

3.3- Autre voie de perte de la matière organique dans le périmètre irrigué des Doukkala

Il est aussi important de considérer dans les régions à vocation betteravière, une autre voie de perte de matière organique qui réside dans les tares de terre collées à la betterave sucrière pendant la période d'usinage. Ces pertes doivent être théoriquement corrélées à la proportion de matière organique dans les particules fines.

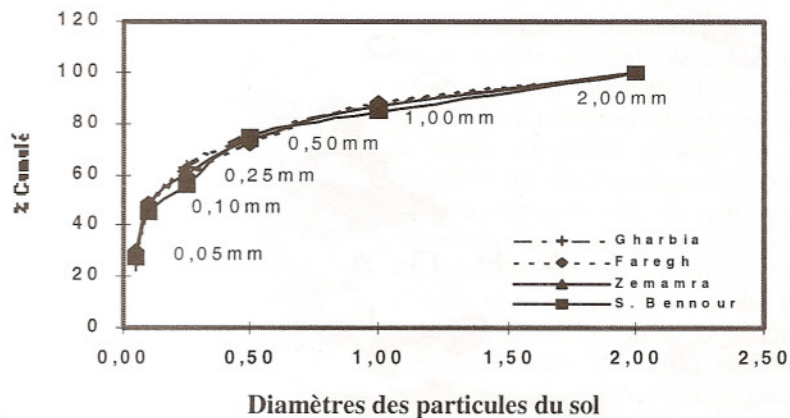


Fig. 3: Evolution du pourcentage cumulé de la matière organique du sol selon le diamètre des particules

(tableau 2) et d'une proportion de 60% de matière organique dans les particules fines, on peut calculer une perte moyenne annuelle de 0.03 tonne de matière organique de sol par hectare dans le périmètre irrigué des Doukkala. Ce phénomène devrait être quantitativement plus important dans les régions tempérées où la récolte de la betterave sucrière s'opère sous des conditions de sol humide.

IV- CONCLUSION

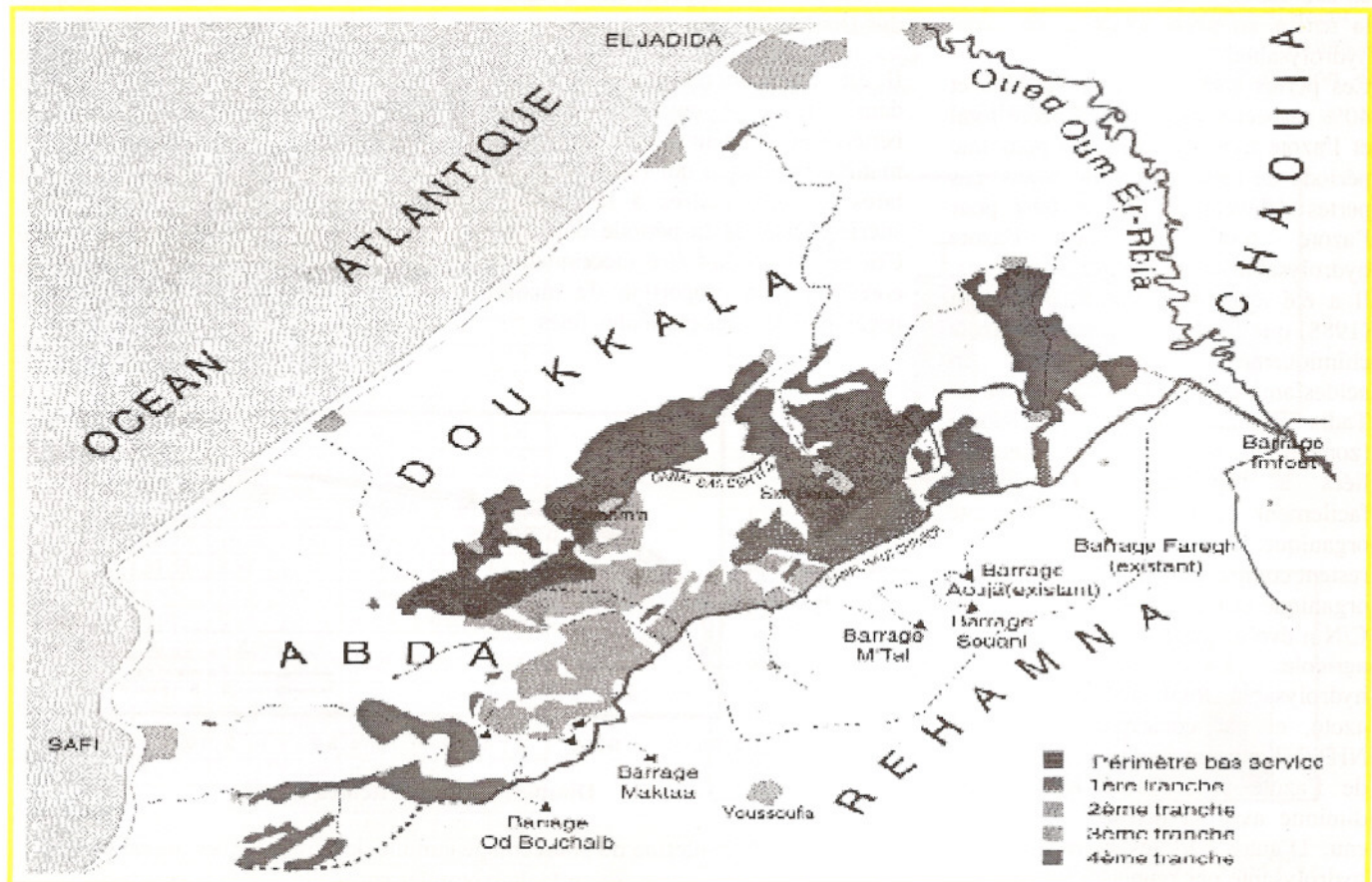
Il ressort de cette étude que la teneur en matière organique dans les sols soumis à l'intensification de la mise en valeur agricole, particulièrement dans le périmètre irrigué des Doukkala, subit une perte importante. Ceci se traduit par une détérioration de la fertilité physique et chimique des sols quelque soit leur texture. Ainsi, des efforts de sensibilisation des

organismes de développement agricole et des agriculteurs méritent d'être déployés.

Il conviendrait aussi d'émettre des recommandations concrètes à travers des essais de démonstration chez les agriculteurs permettant de bien gérer les résidus de récolte et de faire appel à d'autres produits d'amendements organiques comme les résidus de récolte et le fumier composté avec les déchets verts, pour améliorer la fertilité physique et chimique des sols.

REFERENCES

- Badraoui M., Bouaziz A. et Kabassi M. (1993). "Contraintes physiques et potentialités du milieu. Cas des Doukkala" Vol. 1, tome 2, I.A.V. Hassan II, Rabat, 1993.
- Bremner J.M. (1965). Organic forms of nitrogen. In C.A. Black et al. (ed.) Methods of Soil analysis. Part2. Agronomy 9 : 1238-1255.
- Day P.R. (1965). Particle fractionation and particle size analysis. In C.A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy 9 : 545-567.
- Goldin A. et Lavkulich L.M. (1990). Effects of Historical land clearing on Organic matter and nitrogen levels in Soils of the Fraser lowland of British Columbia, Canada and Washington, U.S.A. Can. J. Soil Sci. 70 : 583-592.
- Jackson M.L. (1958a). Organic matter determination for soils, p. 205-266. In soil chemical analysis Prentice-hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Jackson M.L. (1958b). Nitrogen determinations for soils and plant tissue, p. 183-204. In soil chemical analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Soudi B. (1988). Etude de la dynamique de l'azote des sols marocains : caractérisation et pouvoir minéralisateur. thèse de Doctorat d'état es-science agronomiques. I.A.v Hassan II. Rabat.
- Stevenson F.J. (1982). Organic forms of soil Nitrogen. In F.J. Stevenson et al. (ed.) Nitrogen in agricultural soils. Agronomy 22 : 67-122.
- Turchenek L.W. et Oades J.M. (1979). Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. Geoderme. 21. 311-343.



IMPACT DES AMENDEMENTS D'ARGILE SUR LA MINERALISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS UN SOL SABLEUX DE LA ZONE COTIERE MAROCAINE

ZERAOLI M.¹ - RAMDANE R.²

I. INTRODUCTION

La pollution nitrique de la nappe de la zone côtière du Gharb (M'nasra) est un constat établi par l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb (1) depuis 1993 à partir d'un suivi réalisé sur 20 puits de cette zone. Les résultats ont démontré que 16 des 20 puits dosaient plus de 50 mg/l qui correspond à la dose critique recommandée par l'OMS et 3 des 4 puits dont la teneur est inférieure à cette valeur dosaient entre 40 et 50 mg/l. Certains puits dosent plus que trois fois cette norme.

En 1994, une étude plus détaillée (2) a intéressé plus de 170 puits et a fait révéler qu'environ $\frac{3}{4}$ des puits dépassent cette norme, avec des niveaux dans certains puits dépassant quatre fois le seuil critique.

Les mauvaises pratiques agricoles, notamment des apports abusifs d'engrais azotés conjugués à un mode d'irrigation inadapté demeurent les principales accusées. Cette affirmation a été récemment confirmée par l'étude menée par le Secrétariat d'Etat Chargé de l'Environnement (3) dans le cadre d'élaboration d'un programme d'action visant à minimiser et à contrôler l'impact des engrais et des pesticides sur l'environnement du bassin de Sebou. Cette étude a démontré que des cultures telles que l'arachide, le poivron et la pomme de terre peuvent larguer réunies plus de 1.000 T d'azote dans la nappe de la zone côtière d'une valeur globale minimale de 4 MDH qui n'aura servi qu'à la pollution de la

nappe sans la moindre incidence agronomique favorable.

Mais, si les apports abusifs des engrais azotés couplés aux pratiques d'irrigation inadaptés sont les principaux responsables, les apports de fumier de ferme dans la zone constituent une source substantielle d'azote pour les cultures et demeurent une pratique largement adoptée par les agriculteurs surtout pour les cultures sous-serres dont la superficie avoisine mille hectares.

La minéralisation rapide du fumier apportée sur les sols sableux constitue l'un des problèmes majeurs d'utilisation de l'engrais organique entraînant ainsi une assynchronisation entre l'offre d'azote par surminéralisation et les besoins des cultures et ipso-facto des quantités de nitrates lixiviables importantes.

Cette surminéralisation de la matière organique est expliquée par les teneurs faibles en cet élément dans les sols sableux de la zone, en effet 20.176 ha sur 26.103 ha des sols sableux possèdent une teneur inférieure à 1.4% et dont 7464 ha dosent moins de 0.8 % de matière organique (4).

L'absence des complexes argilo-humiques pourrait expliquer cette surminéralisation par absence de niveaux argileux suffisants pour la formation de ce type de complexe permettant la protection d'une bonne partie de la matière organique contre les processus de minéralisation et entretenir par la suite le niveau organique requis. L'effet protecteur exercé par l'argile sur la matière

organique est confirmé par plusieurs auteurs (5) (6) (7)

L'objectif du présent travail est de voir l'impact d'apport d'argile sur la minéralisation d'un fumier de ferme dans un sol sableux de la zone côtière du Gharb et d'apprécier l'effet protecteur d'argile et de voir dans quelle mesure l'argile peut freiner les processus de minéralisation et de favoriser les processus d'humification.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1- Sol sableux utilisé

Les caractéristiques physico-chimiques du sol sableux de M'nasra utilisé sont rapportées dans le tableau 1. Il s'agit d'un sol très sableux avec plus de 88% de sable et moins de 6% d'argile, le niveau organique est moyen mais supérieur à la moyenne des sols sableux de M'nasra.

La CEC et l'humidité équivalente sont très faibles.

2.2- Sol argileux utilisé

Pour ramener le sol sableux de sa teneur initiale en argile de 5.2% aux teneurs respectives de 8%, 12%, 16% et 20% on a utilisé un sol argileux de la plaine du Gharb prélevé sur la couche 0-100 cm. Les caractéristiques physico-chimiques de ce sol sont rapportées dans le tableau 2.

Il s'agit d'un sol très argileux à 56% d'argile et moins de 2% de sable. La faible teneur de la matière organique s'explique par le fait que le prélèvement de ce sol a intéressé aussi

¹ ORMVA du Gharb

² Fac. Sc. de Kénitra

Tableau 1 : Caractéristiques analytiques du sol sableux (0-20cm)

Granulométrie :	
% terre fine	100
Argile %	5.2
Limon fin %	4.7
Limon grossier %	2.5
Sable fin %	57.80
Sable grossier %	30.4
Composition chimique :	
Matière organique (Walkley-Black) (%)	1.6
Carbone organique (%)	0.95
Azote total (Kjeldahl)%	0.08
NH ₄ ⁺ (ppm)	7.00
NO ₃ ⁻ (ppm)	56.0
Rapport C/N	12.4
Calcaire total (Calcimètre Bernard) %	0
Phosphore assimilable (Olsen) (ë)	0.132
Potassium échangeable (ë)	0.052
pH eau	6.40
Salinité (Extrait 1/5 mmhos/cm/25°)	0.07
Bases échangeables (még/100g):	
Calcium	4.30
Magnésium	0.50
Sodium	0.25
Potassium	0.11
Capacité d'échange cationique (CEC még/100g)	5.25
Caractéristiques hydriques :	
humidité équivalente (%)	8.80

les horizons pauvres de profondeur. La CEC et l'humidité équivalente sont élevées.

2.3- Fumier organique utilisé :

Afin d'étudier la minéralisation du fumier dans les sols à différents niveaux d'argile on a utilisé un fumier de ferme relativement pailleux mais bien décomposé avec un rapport de C/N proche de 14 et une humidité moins de 5%. Les résultats des analyses de ce fumier sont rapportés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques analytiques du fumier

Matière organique (Walkley-Black)(%)	31.5
Carbone (combustion)	17
Carbone (Walkley-black) %	18.3
Azote total (Kjeldahl)%	1.32
Rapport C/N	13.86
NH ₄ ⁺ (ppm)	36
NO ₃ ⁻ (ppm)	1015
Phosphore assimilable (Olsen) (ë)	5.5
Potassium échangeable (ë)	5.70
Potassium total (ë)	15.51
pH eau (1/5)	7.22
humidité équivalen (%)	4%

2.4- Protocole expérimental :

Des pots de 6 litres ont servi pour l'installation de l'essai où le sol sableux a été enrichi en argile à partir du sol argileux et un apport commun du fumier de ferme décrit plus haut pour l'ensemble des pots, d'une dose équivalente à 100 T/ha.

Le dispositif expérimental est un bloc aléatoire complet à quatre répétitions à un seul facteur étudié (effet argile). L'étude de l'impact des cinq niveaux d'argile sur la minéralisation du fumier a été menée dans cet essai, il s'agit des traitements suivants :

Tableau 2 : Caractéristiques analytiques du sol argileux (0-100cm)

Granulométrie :	
% terre fine	100
Argile %	55.7
Limon fin %	36.6
Limon grossier %	5.4
Sable fin %	1.3
Sable grossier %	0.5
Composition chimique :	
Matière organique (Walkley-Black) (%)	1.3
Carbone organique (%)	0.76
Azote total (Kjeldahl)%	0.11
NH ₄ ⁺ (ppm)	8.75
NO ₃ ⁻ (ppm)	25
Rapport C/N	6.75
Calcaire total (Calcimètre Bernard) %	15.6
Phosphore assimilable (Olsen) (ë)	0.151
Potassium échangeable (ë)	0.262
pH eau	7.41
Salinité (Extrait 1/5 mmhos/cm/25°)	0.72
Bases échangeables (még/100g):	
Calcium	19.00
Magnésium	6.00
Sodium	3.75
Potassium	0.6
Capacité d'échange cationique (CEC még/100g)	30.00
Caractéristiques hydriques :	
humidité équivalente (%)	42

T0 : sol sableux d'origine à 5% d'argile + équivalent de 100 T/ha de fumier,

T1 : sol sableux ramené à 8% d'argile + équivalent de 100 T/ha de fumier,

T2 : sol sableux ramené à 12% d'argile + équivalent de 100 T/ha de fumier,

T3 : sol sableux ramené à 16% d'argile + équivalent de 100 T/ha de fumier,

T4 : sol sableux ramené à 20% d'argile + équivalent de 100 T/ha de fumier.

L'essai installé dans une salle de laboratoire, a été constamment maintenu à une humidité voisine de l'humidité à la capacité au champ en utilisant l'eau distillée.

Les paramètres suivis sont :

- ♦ La température de l'air et du sol au niveau des pots quotidiennement

- ♦ Le carbone organique (matière organique), l'azote total, l'azote minéral (NH₄⁺ et NO₃⁻), l'azote organique et le rapport C/N avec un intervalle de semis d'environ 2 semaines à 10 jours en réalisant des prélèvements de 15g par pot.

Les méthodes d'analyse utilisées sont :

- ♦ Kjeldahl pour l'azote total

- ♦ Extraction par KCl 2N et distillation d'azote en utilisant le MgO calciné pour l'NH₄⁺ et l'alliage de devarda et le MgO pour les nitrates.

- ♦ Walkley-Black pour le carbone organique et estimation de la matière organique à partir de ce dernier en le multipliant par 1,724.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1- Evolution de la température de l'air et du sol :

La figure 1 rapporte l'évolution de la température de l'air et la température du sol à 10cm de profondeur.

Elle montre que cette évolution est quasi identique dans les deux cas, avec des amplitudes relativement supérieures de celle de l'air d'où l'effet tampon du sol vis à vis de la température.

L'examen de l'évolution de la température du sol fait révéler l'existence de trois phases bien distinctes :

- ♦ La première phase allant de 8 Décembre 1998 au 10 Mars 1999 caractérisée par des températures *relativement basses avec une moyenne* sur cette période de 16.7°C.

- ♦ La deuxième phase allant de 10 Mars 1999 à 4 Juin 1999 où on assiste à une augmentation graduelle de la température avec une moyenne sur cette période de 20°C.

♦ La troisième phase allant de 4 Juin 1999 jusqu'à la fin de l'essai au 1/9/99 où la température augmente d'une manière plus importante avec une valeur moyenne de 26.3 °C.

3.2- Evolution de la matière organique :

La figure 2 illustre l'évolution du niveau organique des 5 traitements au

cours du temps. Elle montre que pendant la phase 1 des températures, il n'existe pratiquement pas de différence entre les traitements et ce en raison des faibles températures qui ne favorisent pas la minéralisation de la matière organique bien qu'il faut noter une chute non négligeable généralisée du niveau organique pour l'ensemble des traitements juste après

la première humectation (8 décembre) qui correspond au phénomène de "flush effect" bien connu au Maroc. Alors que pendant la phase 2 la température moyenne a sensiblement augmenté, le témoin se détache du lot et sa matière organique subit une minéralisation manifestement plus importante que les autres traitements. cette constatation est confirmée au cours de la troisième phase de température où le rythme de minéralisation devient plus intense dans le cas du témoin.

La figure 3 rapportant l'évolution du niveau organique pour 4 dates pour les 5 traitements montre clairement que la minéralisation de la matière est plus importante pour le témoin que pour les autres traitements. Ainsi en comparant les niveaux initiaux et les niveaux finaux de l'ensemble des traitements on s'aperçoit que le taux de minéralisation est de 40%, 29%, 29%, 24% et 23% respectivement pour les traitements T0, T1, T2, T3 et T4 diminuant dans le même sens que l'augmentation de la teneur en argile et on démontre le rôle protecteur que joue l'argile sur la matière. Rien qu'en ramenant le sol sableux de 5% à 8% d'argile, on a pu freiner la minéralisation de 27.5%.

Il est à noter que les deux pics observés dans la figure 2 correspondent aux dates où l'ensemble des pots ont été remélangés pour leurs homogénéisations.

Fig 1 : Evolution de la température moyenne journalière de l'air et du sol

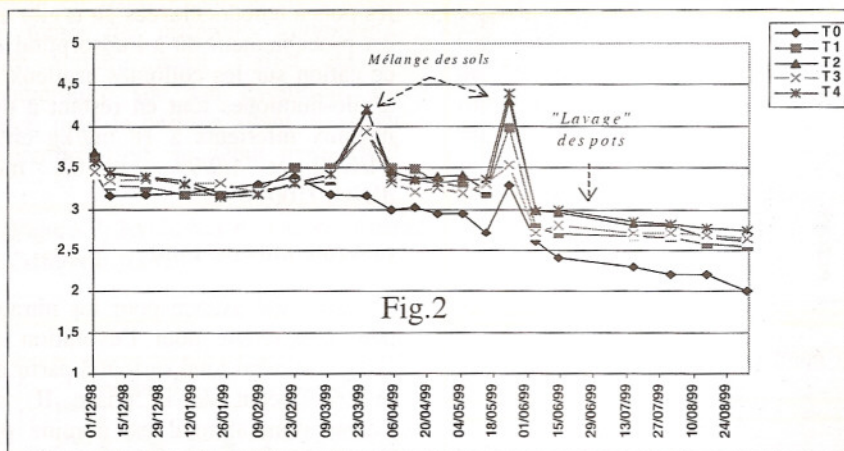
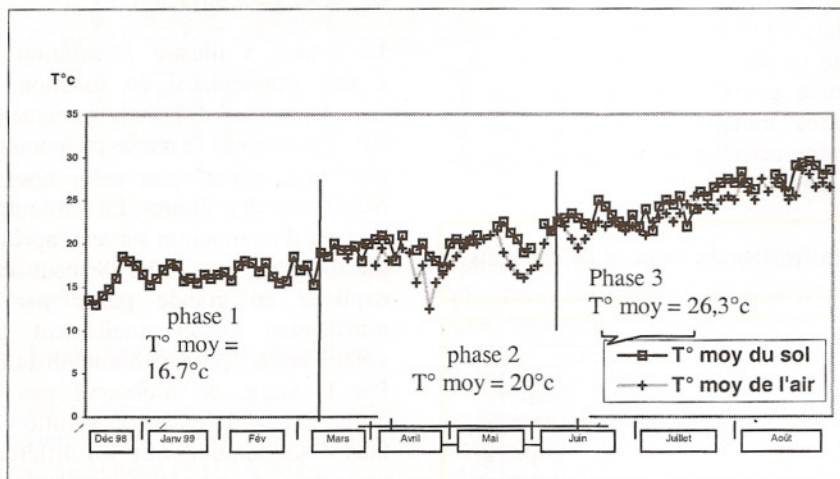


Fig.2

Fig.2: Evolution de la matière organique (en %) en fonction du temps et des différents traitements

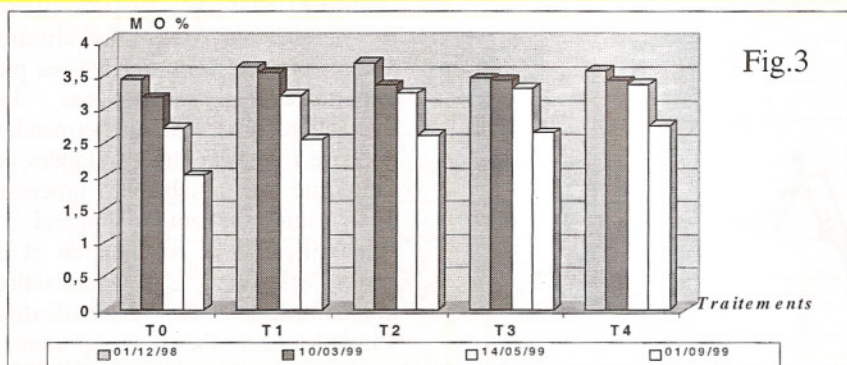


Fig.3

avec T0 = Traitements à 5% d'argile (sol sableux d'origine)
T1 = Traitements à 8% d'argile
T2 = Traitements à 12% d'argile
T3 = Traitements à 16% d'argile
T4 = Traitements à 20% d'argile

Fig.3: Evolution de la matière organique au différentes dates du suivi

3.3- Evolution de l'azote minéral

a) Azote nitrique :

La figure 4 illustre l'évolution de la teneur de l'azote nitrique dans le temps pour l'ensemble des traitements. Il fait ressortir que après la première irrigation (8 Décembre) une surproduction des nitrates a été observée pour l'ensemble des traitements, il s'agit du phénomène comme signalé auparavant, bien connu sous le nom de "flush effect" qui survient après les premières pluies après les longues périodes estivales chaudes et sèches, les premières humectations provoquent une forte prolifération des micro-organismes ammonificateurs et une activité microbienne intense.

La diminution brutale de la teneur nitrique par la suite peut être expliquée par des processus de dénitrification qui peuvent se produire même dans des sols bien aérés au niveau de micro-habitats favorables au développement de ces processus et qui ne sont pas à négliger dans les sols sableux de la zone côtière.

Au cours de la phase 1 le niveau nitrique est resté faible et ce pour l'ensemble des traitements sans qu'il y ait une différence nette entre les traitements. Par contre à partir du 10 Mars 99 (début phase 2) on remarque que la nitrification est beaucoup plus active pour le témoin que pour les autres traitements et de moins en moins active avec l'augmentation de la teneur en argile.

Dans le risque qu'il y ait inhibition de processus de nitrification avec l'accumulation des nitrates on a procédé à une lixiviation des pots au 15/6/99 ce qui explique la chute des niveaux nitriques entre le 14/6/99 et 15/7/99.

Après cette lixiviation on remarque un nouveau démarrage des processus de nitrification avec une intensité aussi marquée que le niveau d'argile est faible.

b) Azote ammoniacal :

La figure 5 illustre l'évolution de l'azote ammoniacal en fonction du temps pour les différents traitements. Elle fait ressortir le même phénomène de "flush effect" que celui observé dans le cas des nitrates. La diminution du taux d'ammonium survenu après le pic observé au 23/12/98 peut être expliqué en grande partie par la nitrification et éventuellement par volatilisation et par immobilisation. Par la suite, on n'observe pas de différence notable dans l'évolution du taux d'ammonium entre les différents traitements bien qu'on peut noter des valeurs légèrement supérieures pour les pots à teneurs élevées en argile qui est probablement dû à l'adsorption de ce cation sur les colloïdes argileux et argilo-humiques tout en restant à des niveaux inférieurs à 18 mg/kg entre 14/6/99 et 1/9/99 soit 0.1 méq d' NH_4^+ /100g.

c) Azote minéral total :

Ce qui a été avancé pour les nitrates peut être retenu pour l'évolution de l'azote minéral total surtout à partir du 9/3/99 (Début de la phase II) où l'azote minéral total est dominé par l'azote sous sa forme nitrique.

La figure 6 reflète cette évolution est confirme l'effet protecteur d'argile sur les processus de minéralisation d'azote où le témoin a connu les plus importantes minéralisations. Les fluctuations observées surtout pendant la phase I peuvent être expliquées par l'intensité très variable des processus de gains d'azote minéral : ammonification et nitrification et de pertes d'azote : volatilisation, immobilisation et dénitrification. Tantôt les gains d'azote l'emportent

Fig.4 : Evolution de l'azote nitrique (en ppm) en fonction du temps et de différents traitements

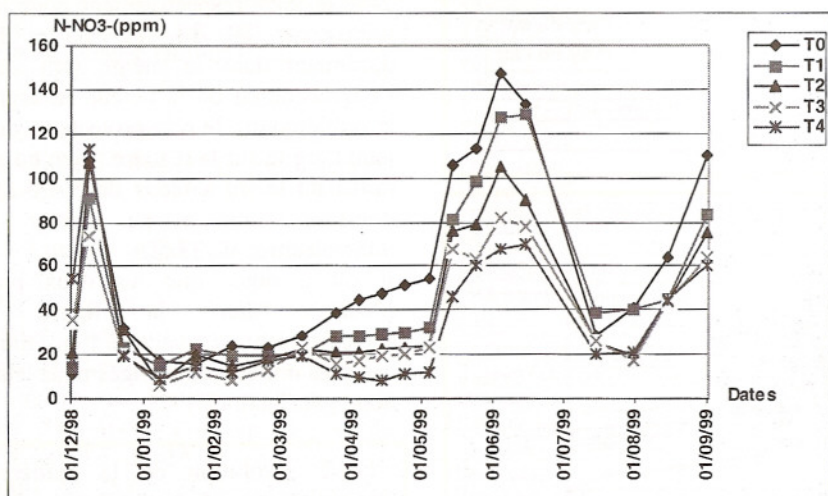


Figure 5: Evolution de l'azote ammoniacal (en ppm) en fonction du temps et de différents traitements

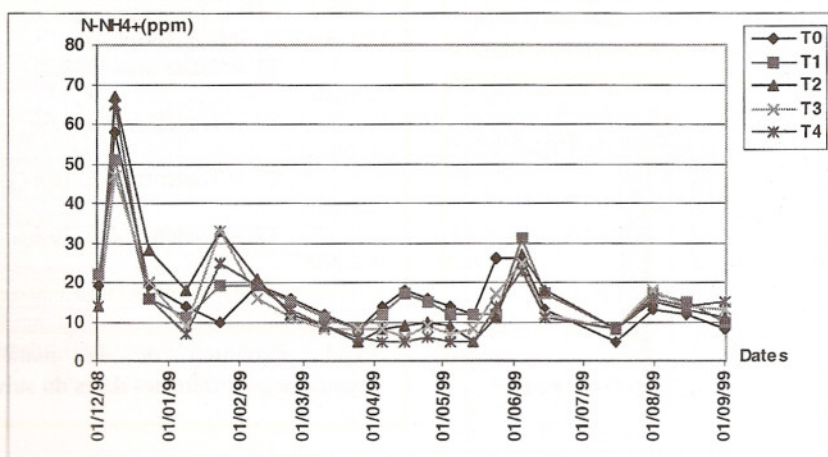
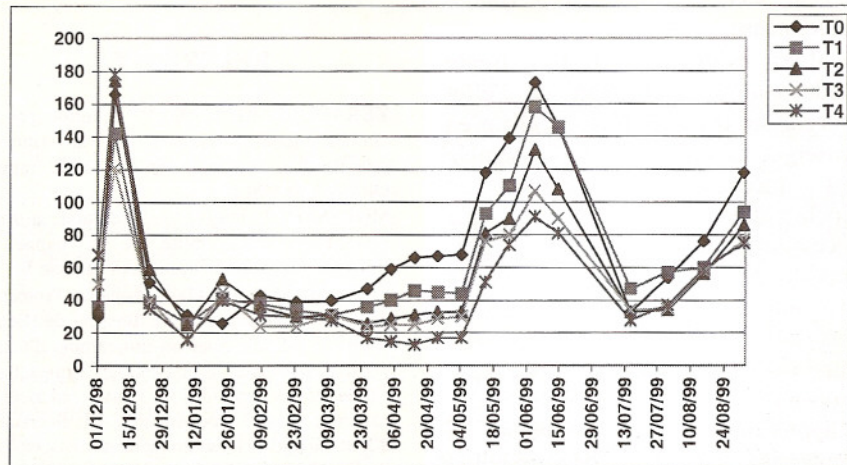


Figure 6: Evolution de l'azote minéral totale (en ppm) en fonction du temps et de différents traitements



tantôt les processus de pertes l'emportent.

3.4- Evolution de l'azote organique

L'azote organique a été déterminé par différence entre l'azote total Kjeldahl et l'azote minéral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$).

La figure 7 relate l'évolution de la teneur en azote organique en fonction du temps des différents traitements. Elle montre aussi l'effet de la température sur son évolution. En effet, pour la période allant du début décembre 1998 au début mars 1999

(phase I), on constate des fluctuations plus ou moins importantes, on a tantôt une minéralisation nette (perte de l'azote organique) tantôt une immobilisation nette (gain en azote organique). Cela est vrai pour tous les traitements.

Pendant cette phase l'effet d'argile sur la minéralisation de l'azote organique n'est pas encore apparu. Cela s'explique par les faibles valeurs de température qui est un facteur important pour la stimulation de la minéralisation.

En revanche à partir du début de la phase II, on assiste à une diminution systématique du stock d'azote organique pour l'ensemble des traitements et les processus de minéralisation nette l'emportent sur les processus d'immobilisation grâce à l'augmentation de la température, mais on note que les pertes en azote organique sont aussi importantes que la teneur d'argile diminue surtout dans le cas du témoin qui dose 5% d'argile. Pour des stocks d'azote organique d'environ 1700 mg/kg initialement pour T0 et T4 les pertes ont été évaluées à 573 mg/kg et 310 mg/kg respectivement pour les deux traitements à la fin du suivi.

Le rythme des pertes en azote organique s'accroît surtout à partir du mois de Juin (phase III) avec l'augmentation de la température avec un effet protecteur d'argile très marqué.

Les pertes en azote organique entre le début et la fin de l'étude s'élèvent à 34.4%, 28.3%, 14.9%, 12.8% et 15.3% respectivement pour le témoin, T1, T2, T3 et T4.

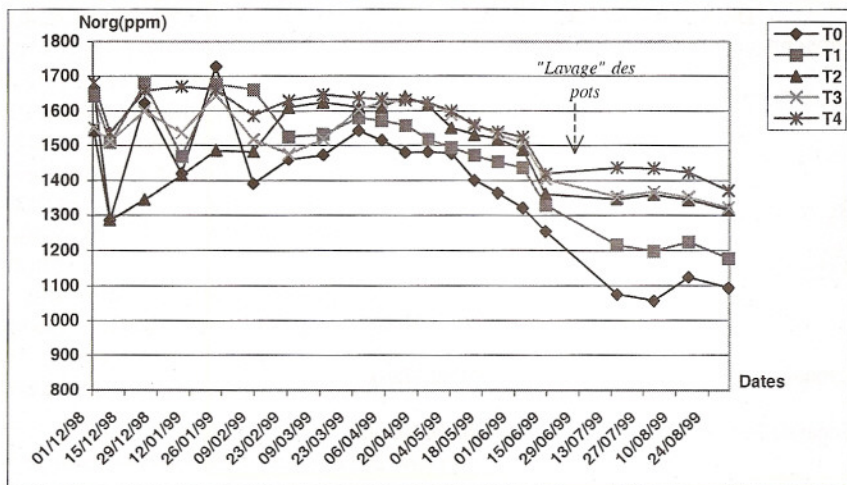
IV. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La présente étude ayant pour objectif d'apprécier l'impact des amendements d'argile sur les processus de minéralisation de la matière organique dans un sol sableux de la zone côtière Marocaine a permis de dégager les conclusions et recommandations suivantes :

- ♦ En marge de l'étude de l'effet d'argile sur la minéralisation de la matière organique on a pu confirmer certaines constatations déjà mises en évidence telles que l'effet primordial de la température sur la minéralisation et le phénomène du "flush effect" qui survient à la première humectation des sols. En effet, quand la température est faible pendant la phase hivernale, la minéralisation a été ramenée au strict minimum et on peut même observer une dominance des processus d'immobilisation de l'azote minéral, dans ce cas l'effet d'argile n'a pas été mis en évidence.

- ♦ L'augmentation de la température à partir du mois de Mars a favorisé les

Figure 7: Evolution de l'azote organique (en ppm) en fonction du temps et de différents traitements



phénomènes de minéralisation et l'effet d'argile a été mis en évidence, on a ainsi confirmé que la minéralisation de l'azote organique provenant d'un fumier décomposé dépend de la dose d'argile appliquée au sol sableux et l'intensité de minéralisation est aussi importante que cette dose est faible.

Les taux de minéralisation entre 1/12/98 et 1/9/99 ont été respectivement de l'ordre de 40%, 29%, 29%, 24% et 23% pour le témoin (sol à 5% argile), T1 (à 8% d'argile), T2 (à 12% d'argile); T3 (à 16% d'argile) et T4 (à 20% d'argile). En revanche si on tient compte des taux de minéralisation de l'azote organique on obtient dans ce cas des pertes de l'ordre de 34.4%, 28.3%, 14.9%, 12.8% et 15.3% respectivement pour T0, T1, T2, T3 et T4.

◆ En plus des effets bénéfiques des amendements d'argile pour un sol sableux sur la structure du sol, sur l'amélioration de la rétention en eau et sur l'amélioration de la fertilité chimique, il est évident que l'argile a un effet protecteur sur la matière organique et permet de réduire considérablement le rythme de minéralisation ce qui permettra sur le plan agronomique de la mieux synchroniser avec les rythmes

d'absorption de l'azote minéral par les cultures et sur le plan environnemental de contribuer à la préservation de la nappe contre la pollution nitrique tel est le cas pour la zone côtière sablonneuse.

◆ Il est évident que si la présente étude souligne l'efficacité de l'effet d'argile sur la minéralisation, elle n'en renseigne pas moins sur l'ensemble des mécanismes chimiques et biochimiques mises en jeu. Cela nécessiterait des investigations plus approfondies. L'appréhension de la dynamique de l'azote surtout dans les sols sableux demeure une nécessité impérieuse pour une meilleure protection de l'environnement. L'appréciation d'un phénomène si important que la dénitrification demeure totalement ignoré pour nos sols.

◆ Sur la base de la présente étude, une amélioration de la teneur en argile des sols sableux de la zone côtière de 3% serait une bonne recommandation. Sur le plan pratique un apport de l'ordre de 90T/ha d'argile pure soit une quantité de l'ordre de 150 T à 200 T/ha d'un sol argileux du Gharb paraît économiquement valable et qui pourrait même être répartie sur 2 à 3 ans. Toutefois des essais culturaux en plein champ ou sous-serre seraient fortement souhaitables.

REFERENCES

- ZERAOULI M. (1993) : "Pollution par les nitrates, premiers résultats de la situation actuelle dans la nappe des M'nasra" rapport ORMVA du Gharb.
- MOUSSAOUI (1994) : "Pollution nitrique actuelle et vulnérabilité de la nappe de M'nasra" Mém. 3ème cycle. IAV Hassan II.
- SCET-MAROC (1999) : "Projet de Protection de l'Environnement du Bassin de Sebou (PPBS) : " Etude pour un programme d'action visant à minimiser et à contrôler l'impact des engrais et des pesticides sur l'environnement du bassin de sebou". Sous-mission 2.1. Secrétariat d'Etat Chargé de l'Environnement.
- SCET-MAROC (1994) : "Etude pédologique au 1/20.000^{ème} de la troisième tranche d'irrigation (T.T.I) sur une superficie de 100.000 ha. Zone M'nasra" ORMVA du Gharb.
- BALABANE M. (1996) : "Turnover of clay-associated organic nitrogen in the différents aggregate-size classes of a cultivate sity loam" European journal of soil science, n°47 pp : 285-291.
- DOMMERMUES V et MOUGENOT (1970) : "Cycle de l'azote" in Ecologie microbienne du sol - masson ed Paris pp : 155-223.
- SKJEMSTAD J.O., JANIK L.J. et HEAD M.J. (1993) : "High energy ultraviolet photo-oxidation : A novel tech for studying physically protected organic matter in clay and silt-sized aggregates". Journal of soil science . N° 44 pp : 485-499.

COMITE SCIENTIFIQUE DU CONGRES

Dr. M.AGBANI

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat Maroc

Dr. A. AIT-HOUSSA

Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès / Domaines Royaux

Dr. M. AMMAR

Institut Mondial des Phosphates, Casablanca

Dr. M. BADRAOUI

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat Maroc

Dr. R. BOUABID

Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès

Ir. M. BOUNIF

Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Doukkala, El Jadida

Dr. M. EL GHAROUS

Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat

Dr. LOUDYI

Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès

Dr. L. MOUGHLI

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat Maroc

Dr. B. SOUDI

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat Maroc

Ir. M. ZERAOULI

Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb, Kenitra

LA FERTILISATION DES CULTURES OLÉAGINEUSES AU MAROC : CARACTERISATION ET PERSPECTIVES

Dr. ZERRARI, N.¹ et Dr. MOUSTAOU, D.²

RESUME

Au Maroc, ces deux dernières décennies, un très grand intérêt de recherche-développement a été accordé aux cultures oléagineuses. Ainsi, plusieurs références techniques, en matière de conduite, ont été acquises et sont actuellement en phase de transfert auprès des producteurs.

Cependant, le volet fertilisation d'importance non négligeable dans le processus de production demeure encore au stade d'élaboration et parfois même de réflexion. Ce retard est dû à la complexité de ce champ d'activité et aussi au temps, parfois long, que nécessitent ces investigations pour la production des résultats.

En effet, la pratique actuelle de la fertilisation montre, d'une manière générale, l'existence de carences de taille aussi bien sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif et ce tant au niveau de sa conception qu'au niveau de la perception qu'en font les agriculteurs. Cette situation résulte de l'influence qu'exercent plusieurs facteurs et conditions, notamment l'environnement pédo-climatique, socio-économique et les systèmes de production, sur la décision de la conduite des apports d'engrais.

Actuellement, compte tenu des contraintes rencontrées, il y a intérêt à compléter non seulement le référentiel technique qui rendrait possible le raisonnement de la fertilisation mais aussi à revoir les modalités de transfert de cette technologie à l'échelle de la pratique.

La présente communication se propose d'identifier, à partir de l'état actuel de la pratique de la fertilisation des cultures

oléagineuses, les voies qui permettraient la levée des facteurs limitant l'adoption et la généralisation du raisonnement des apports des engrais et par conséquent l'amélioration de la productivité de ces cultures.

I- INTRODUCTION

Au Maroc, ces deux dernières décennies, un très grand intérêt de recherche-développement a été accordé aux oléagineuses et des références techniques, en matière de conduite de ces cultures, ont été acquises et sont actuellement en phase de transfert auprès des producteurs : cependant, le volet fertilisation, d'importance non négligeable dans le processus de production demeure à un stade très en retard.

En effet, la pratique actuelle de la fertilisation montre, d'une manière générale, l'existence de carences et de contraintes aussi bien sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif et ce tant au niveau de sa conception qu'au niveau de la perception qu'en font les agriculteurs. Cette situation résulte de l'influence qu'exercent plusieurs facteurs et conditions, notamment l'environnement pédo-climatique, socio-économique et les systèmes de production, sur la décision de la conduite des apports d'engrais.

La fertilisation, comme toute autre intervention visant à améliorer la productivité des terres, doit être raisonnée afin d'atteindre son objectif sans altérer la qualité du milieu ni entraîner des dépenses inutiles. Ainsi, en réponse à l'augmentation du coût des engrais et à la prise de conscience des risques de dégradation de l'environnement, les doses d'engrais peuvent maintenant être établies plus

précisément et mieux ajustées aux caractéristiques des sols et des cultures. Cela a été permis par un progrès dans les connaissances, dans les techniques d'analyses et dans les méthodes d'expérimentation : En fait, c'est toute une conception de la fertilisation qui s'instaure.

Actuellement, compte tenu des contraintes rencontrées, il y a intérêt à compléter non seulement le référentiel technique qui rendrait possible le raisonnement de la fertilisation mais aussi à revoir les modalités de transfert de cette technologie à l'échelle de la pratique.

La présente communication se propose de situer, à partir de l'état de la pratique de la fertilisation et de l'idée que l'on se fait aujourd'hui de sa place dans le processus de production des cultures oléagineuses, les voies qui permettraient la levée des facteurs limitant l'adoption et la généralisation du raisonnement des apports des engrais et par conséquent l'amélioration de la productivité de ces cultures.

II- GENERALITES

2.1. Cultures pratiquées

Les principales cultures oléagineuses rencontrées au Maroc appartiennent à trois familles (tab. 1).

2.2. Importance des cultures

Actuellement, sur la période 95/99, la superficie moyenne occupée par les cultures oléagineuses s'élève à environ 86.000 Ha enregistrant ainsi une baisse de 47% par rapport à la période 90/94. (Tableau 2).

L'accroissement des emblavements de ces cultures (Tab. 2) s'est accru de façon très importante depuis les années 1980 à cause essentiellement de la

¹ Centre interprofessionnel des oléagineux, Meknès.

² Département des sciences du sol, Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès.

mise en place d'un intense programme de recherche-développement et de l'amélioration des conditions de commercialisation. Cependant, à partir de 1994 une nette tendance à la baisse s'est opérée ; due aux conditions climatiques, aux difficultés commerciales et aussi à quelques problèmes techniques.

2.3. Zones de production

Les principales zones de culture pour le tournesol et le colza sont les plaines côtières du Gharb, du Loukkos, et de la Moulouya et les zones centrales situées dans le Saïs, Fès-Taounat, Khémisset. Récemment, le tournesol a été introduit dans les périmètre irrigués du Doukkala et Tadla. Le soja, par contre, est réservé aux périmètres irrigués de Doukkala, Gharb, Haouz et Massa.

Tableau 1. Principales cultures oléagineuses rencontrées au Maroc

Famille	espèce	Teneur en huile (%)	Pluviométrie Annuelle (mm)
Composée	Tournesol	40 - 48	400 - 600
Crucifères	Colza	45 - 50	450 - 600
Papilionacés	Soja	20 - 22	Irrigué

III- SITUATION ACTUELLE DE LA FERTILISATION

3.1. références acquises

Les recherches qui ont été effectuées en matière de fertilisation n'ont concerné que l'azote. Ainsi, au bout de 8 années d'expérimentation, en station et chez les agriculteurs, les résultats suivants ont été obtenus:

3.1.1. Sur tournesol

Il ressort, globalement des expérimentations entreprises, que :

- la dose optimale d'azote se limite à 60 unités/Ha,
- Le fractionnement 30 unités au semis et 30 unités au stade 4 feuilles s'exprime le mieux,
- L'apport de 60 unités au semis est mieux valorisé dans le cas d'une phase végétative bien arrosée,

- En année sèche, l'apport d'azote reste sans effet sur la productivité

3.1.2. Sur colza

L'effet de l'apport de l'azote se traduit par :

- L'augmentation de rendement de 100% par rapport au témoin,
- Les apports précoces améliorent plus le rendement.
- La dose de 120 unités suffit pour atteindre des objectifs de rendements appréciables (en moyenne 28.9 Qx/Ha),
- Les meilleurs résultats sont obtenus avec des combinaisons où les apports précoces sont importants (rendement variant entre 31.4 et 32.8 Qx/Ha),
- Le fractionnement 30 unités au semis et 90 unités au stade C est préconisé.

3.2. Besoins des cultures et recommandations

Les besoins en éléments minéraux pour le colza et le tournesol (Tab. 3 et 4) sont importants et restent liés aux objectifs de rendements visés. Cependant, les restitutions sont très importantes et atteignent en moyenne et respectivement pour l'azote, le phosphore et la potasse 50.5, 31.5 et 91.5% à condition de restituer les résidus de récolte et les incorporer au sol.

Le conseil technique consiste en une fertilisation d'assurance pour le phosphore et la potasse. Ce qui fait que :

- en sol riche, l'apport servira à entretenir et à compenser les exportations,
- en sol pauvre, l'apport servira, en plus de la couverture des besoins, à redresser les réserves.

Tableau 2. Evolution des superficies des cultures oléagineuses rencontrées au Maroc

	60/64	65/69	70/74	75/79	80/84	85/89	90/94	95/99
Colza	-	-	-	-	350	875	1475	510
Soja	-	-	-	-	275	1800	5600	875
Tournesol	9200	13600	23100	19200	15350	66600	154200	84200
Total	9200	13600	23100	19200	15975	69275	161275	85585

Tableau 3. Culture de tournesol, terme du bilan en unités/Ha

Eléments	Besoins	Exportation	Restitutions	Recommandation
Azote	210	90	120	120
Phosphore	75	45	30	60- 80
Potasse	300	30	270	80-100
Soufre	215	70	145	-

3.1. Pratique de la fertilisation

Les résultats d'enquêtes-analyses montrent, d'une manière générale, que la conduite de la fertilisation, adoptée sur les cultures oléagineuses pratiquées, manifeste de grandes insuffisances.

Les apports - quand ils y sont - n'obéissent apparemment à aucune règle de raisonnement et leurs conceptions restent influencées par plusieurs facteurs et conditions liés à l'environnement pédo-climatiques et socio-économique des agriculteurs. Aussi, les relations entre cultures à travers le système de production affectent la fertilisation de chacune à différents égards, notamment la restitution des résidus de récolte et l'adaptation au précédent cultural.

3.1.1. Tournesol

La fertilisation de la culture de tournesol distingue trois groupes d'agriculteurs : ceux n'adoptant aucun apport, ceux adoptant peu d'engrais et ceux initiés au raisonnement de la fertilisation.

a- les agriculteurs n'adoptant aucun apport

Ils représentent environ 67% des agriculteurs.

Dans ce cas, le tournesol est cultivé sans engrais et la satisfaction de ses besoins dépend de l'offre du milieu et des conditions de sa valorisation. Cette catégorie d'agriculteurs se caractérise par une taille d'exploitation inférieure à 5 Ha, une superficie moyenne de la parcelle tournesol de 3.2 Ha et un rendement moyen inférieur à 9 Qx/Ha.

Tableau 4. Culture de colza, terme du bilan en unités/Ha

Eléments	Besoins	Exportation	Restitutions	Recommandation
Azote	90	50	40	40-60 sol superficiel à faible minéralisation
				30-40 sol à profondeur moyenne et à forte minéralisation
				0 sol profond à forte minéralisation avec reliquats
Phosphore	34	20	8	30-50 tous types de sols
Potasse	228	16	212	0 sols bien pourvus
				60 sols Rmel et en irrigué

b- Agriculture adoptant peu d'engrais

Ils représentent environ 28% d'agriculteurs et pratiquent la fertilisation comme suit :

Engrais de Fond : Phosphore et potasse

Agriculteurs (en %)	Qté (Qx/Ha)	Azote (unité)	Phosphore (unité)	Potasse (unité)
30	0.75	10.5	21	10.5
56	1.25	35	35	35
14	2.00	28	56	28

Ce dosage est le résultat du type de formulation d'engrais utilisé, apporté généralement sous forme de **14.28.14**. Ces deux éléments sont apportés le plus souvent soit à la reprise des labours soit au semis.

- Engrais de couverture

Dans cette catégorie, il n'y a que 25% des agriculteurs qui apportent l'engrais

de couverture. La quantité apportée est en moyenne de 0.675 Qx/Ha soit 18 à 30 unités d'azote selon le type d'engrais utilisé. Elle est apportée, en partie, au stade démarrage si les conditions climatiques le permettent; l'autre partie, avec les engrais de fond. En effet, en situation de sécheresse, l'agriculteur est dispensé de cet apport alors qu'en situation d'excès de pluie, pour des raisons d'accessibilité des parcelles, cet apport est effectué en retard dans 30 % des cas.

c- Agriculteurs initiés au raisonnement

Ils représentent environ 5% et appartiennent le plus souvent à des institutions plus organisées en l'occurrence la SOGETA, les Domaines, l'INRA, les coopératives et associations ou sont simplement des agriculteurs qui ont un certain niveau de connaissances scientifiques et sont donc plus prédisposés à adopter la technologie.

Ces agriculteurs tiennent compte, lors de la conception de la fertilisation de leur parcelle, surtout des conseils techniques diffusés. Dans ces conditions, le risque de fertiliser à la dose moyenne (conseil technique habituel) et unique partout quelle que soit l'année se traduit par une perte de revenu à l'agriculteur (une dose sous estimée diminue le rendement et une dose surestimée entraîne des charges inutiles).

Ainsi, le phosphore, apporté à la reprise des labours, est appliqué à une dose se situant aux alentours de 60 unités à l'hectare. La potasse, également apportée à la reprise des labours, est appliquée à la dose variant entre 100 et 200 unités à l'hectare. Les agriculteurs qui tiennent compte des exportations et des besoins de la culture apportent plus de potasse (200 unités) alors que ceux qui se contentent du conseil technique apportent moins (100 unités). Les

engrais sont apportés sous forme de **14.18.14**, **0.20.30**. et/ou **0.0.48**. L'azote, fractionné en deux apports dont la moitié au semis et l'autre moitié au stade démarrage si les conditions climatiques le permettent, est généralement appliqué à une dose se situant au plus à 60 unités. Elle est apportée sous forme d'ammonitrate (33.5%) ou d'urée (45%).

1.2. Colza

La culture de colza est une culture jusqu'à présent adoptée plutôt par la catégorie d'agriculteurs initiés au raisonnement de la fertilisation. De même, en étant une culture d'automne, le colza n'a pas les mêmes contraintes qui s'opposent à la pratique de la conduite des apports des engrais.

Les résultats, des suivis diagnostiques exhaustifs, montrent que la fertilisation se présente comme suit :

1.2.1. Sur le plan quantitatif

Le tableau ci-dessus donne, en moyenne les apports en azote (N), en phosphore (P), et en potasse (K), en unités à l'hectare.

	N	P	K
% parcelles appliquant la dose moyenne.....	72	65	63
% parcelles dont dose > dose moyenne.....	47	44	33
< dose moyenne.....	53	56	67

1.2.2. Sur le plan qualitatif

Deux points doivent être abordés, le fractionnement et la nature des engrais apportés.

a. Fractionnement

Le phosphore et la potasse sont apportés en totalité avant le semis. Alors que pour l'azote, il existe plusieurs variantes :

- Les parcelles recevant moins de la dose moyenne (72 unités), le fractionnement effectué est 50% au semis et 50% en culture au stade C.

- Les parcelles recevant plus de la dose moyenne, le fractionnement adopté est 30% au semis et 70% en culture au stade C. Dans cette catégorie, 10% d'agriculteurs procèdent

au fractionnement suivant : 25% au semis, 55% au stade rosette et 20% au stade montaison.

- Le soufre est apporté d'une façon indirecte sous forme de sulfate de potasse dans 15% des situations rencontrées..

b. Nature des engrais

Les principaux engrais apportés sont :
Engrais ternaire : **14-28-14, 18-19-17 et 6.5-20.5-20.5,**
Engrais binaire : **0-23-23 et 19-38-0,**
Engrais simple : **33.5-0-0, 46-0-0 et 0-0-48.**

Cette multitude de formules d'engrais, souvent déséquilibrées, rend difficile dans certaines situations le respect des apports nécessaires.

3.2. Place de la fertilisation dans le système de production

Depuis longtemps, il a été essayé de faire passer à l'agriculteur toutes les informations pour l'aider à progresser dans la culture de tournesol et de colza et améliorer son revenu.

Cependant, certaines informations diffusées sur la fertilisation semblent être restées sans effet chez la majorité des agriculteurs. Cette réticence a bien des raisons. La fréquentation du terrain en de multiples occasions (enquêtes, tours de plaine, manifestations, démonstrations, etc.) a permis d'identifier et d'expliquer l'attitude des producteurs vis à vis de cette technique.

Si la fertilisation des céréales, en particulier le blé, est considérée comme étant un investissement devant entraîner une amélioration du niveau de rendement, la fertilisation des cultures oléagineuses, dans l'état actuel de sa pratique, reflète un certain comportement psychologique de la part des agriculteurs.

En effet, elle est perçue, dans la majorité des cas, comme étant un acte à entreprendre sans en attendre de contre partie. Cette attitude des agriculteurs vis à vis de la fertilisation des cultures oléagineuses s'explique par différentes raisons :

3.2.1. Insuffisances moyens financiers

L'insuffisance ou l'absence des moyens financiers pour faire face aux dépenses engendrées par la fertilisation revient au fait que le tournesol en étant une culture de printemps, ne bénéficie pas de la même considération que les cultures d'automne. La priorité est donc donnée aux céréales lors de l'affectation des ressources et lors de l'établissement de l'assolement. Aussi, le tournesol est considéré comme une culture conjoncturelle dans la majorité des cas 60% ; donc sa fertilisation n'est pas prévue. Ainsi, au printemps, les possibilités et les moyens pour installer le tournesol deviennent réduites ; surtout que le poste engrais ne semble pas être négligeable et représente environ 20% du prix de revient.

3.2.2. Faible valorisation des engrais

L'ensemble du cycle du tournesol se déroule au printemps et les conditions pluviométriques pendant cette période sont dans la plus part contraignantes, ce qui pose le problème de valorisation des engrais apportés.

La culture de tournesol, contrairement aux céréales, par exemple, ne répond pas à l'apport des engrais d'une manière appréciable, ce qui place l'agriculteur dans un état de doute du rôle et du devenir des apports.

En effet, les résultats montrent que, dans des conditions non limitantes en eau, le tournesol ne valorise pas plus de 60 unités. Les essais sur 3 ans ne montrent seulement qu'un gain de rendement de 1 q/ha suite à l'apport de l'azote. Les apports de P et K n'entraînent pas d'effet immédiat. D'autre part les études qui existent, montrent une certaine richesse du sol en ces éléments et les agriculteurs qui fertilisent ne font qu'entretenir leur sol.

3.2.3. Insuffisance dans la communication

Si le tournesol a bénéficié d'un grand effort de vulgarisation, il semble que les messages élaborés pour le transfert de la technologie de fertilisation, se sont heurtés à certaines valeurs sociales de l'environnement des agriculteurs et

sont restés sans effet.

De nature, les agriculteurs ne veulent pas changer de pratique et l'aspect rentabilité en est pour beaucoup. La culture de tournesol est considérée comme une culture de rente.

Aussi, d'autres points s'ajoutent pour l'explication de cette attitude et de ce comportement à savoir le degré intellectuel, le taux d'alphabétisation, etc.

3.2.4. Insuffisance du référentiel technique

Le conseil de fumure ne concerne actuellement que la fertilisation azotée et elle est élaborée selon le principe de courbes de réponse. Cette approche présente des inconvénients notamment l'inadaptation de la dose d'engrais aux conditions de production par ce que sa conception ne tient pas compte des caractéristiques des sols et leur variation entre parcelles. Elle nécessite, entre autre, un lourd réseau d'essais pour adapter les doses à la parcelle. Il faut donc faire appel à la méthode du bilan qui repose sur l'appréciation de l'offre potentielle des sols et sa confrontation à la demande nécessaire pour la satisfaction des besoins des plantes en fonction de l'objectif de rendement pour l'azote et du type de sol et de système de culture pour le P.K.

Cependant, cette approche nécessite l'existence simultanée:

- d'analyses de sol
- de références d'interprétation
- de références permettant l'utilisation du bilan

3.2.6. Insuffisance en éléments de raisonnement

La production agricole résulte du fonctionnement pendant le cycle cultural, d'un peuplement végétal sur une superficie. Ce peuplement capte, transforme et stocke des éléments minéraux et de l'énergie qui lui sont fournis en quantité limitée par le sol, l'atmosphère et le soleil. Vis à vis des éléments minéraux, les besoins du peuplement sont étroitement liés à son fonctionnement général. Ils sont variables au cours du cycle en fonction de la vitesse de la photosynthèse, des

organes formés et donc selon l'espèce végétale.

Ces besoins, sauf dans le cas des oligo-éléments, ne sont satisfaits que par le sol qui constitue l'interface obligée entre les plantes et les agriculteurs qui veulent leur fournir des éléments nutritifs. Or le sol est un système complexe dans lequel chaque élément minéral est présent sous plusieurs formes dont certaines seulement sont utilisables par les plantes et sont continuellement régies par des équilibres dynamiques.

Les engrais apportés ne restent donc pas forcément dans le sol sous la forme utilisable. Il n'y a donc pas équivalence entre engrais apporté et éléments disponibles pour les cultures, en conséquence, on ne peut raisonner la fertilisation sans considérer la dynamique des éléments minéraux dans le sol, les conditions de fonctionnement des racines, les exigences en éléments minéraux et les besoins instantanés des plantes.

IV- PERSPECTIVES D'AVENIR

Il s'agit de répondre à la question comment réussir à faire adopter, par les agriculteurs la fertilisation en vue d'améliorer la productivité des parcelles et donc de leur revenu. L'agriculteur cherche un système de fertilisation efficace, sure, rentable et commode:

- **Efficace** pour atteindre l'objectif d'augmentation de rendement souhaité,
- **Sure** pour se mettre à l'abri d'aléas liés à la conjoncture quelle soit économique, climatique ou technique,
- **Rentable** pour que son exploitation dégage un profit.
- **Commode** pour faciliter son emploi rationnel (formulation, dose)

L'agriculteur aura donc à composer entre un idéal économique (pour autant qu'il soit connu) et les moyens dont il dispose. Actuellement, compte tenu du potentiel existant, des résultats obtenus, les rendements pourraient être améliorés d'au moins 50% à condition d'améliorer non seulement la fertilisation mais également les autres

techniques culturales, notamment l'installation, l'entretien et la récolte.

La contribution de la fertilisation dans l'augmentation du niveau de rendement varie entre 15 et 30%.

Le manque à gagner, en se basant sur un niveau de rendement moyen de 10 Qx/Ha, serait de 1 à 2 Qx. Pour un programme de 100 000 Ha, l'augmentation de la production serait de 100.000 à 200.000 Qx. Cette production supplémentaire entraînerait une marge financière de 40 milliards à 80 milliards de Dh; soit 4.000 à 8.000 tonnes d'huile alimentaire; ce qui représente 1 à 2 % des besoins.

Ces perspectives encourageantes imposent un plan d'action spécifique d'intensification centré sur deux volets: La création ou la mise à jour du référentiel technique et le plan de transfert de ces innovations (conseil/raisonnement) au niveau de la pratique.

4.1. Le référentiel technique

Si la fertilisation joue un rôle important dans le processus de production (amélioration des rendements) c'est grâce à la connaissance en partie des potentialités des terres. En effet, les analyses du sol ont permis aux praticiens d'ajuster de façon plus précise les besoins des espèces pour un rendement objectif, à la réserve disponible en éléments minéraux et compléter si nécessaire les insuffisances par des apports (minéraux, amendements). Ceci nécessite :

- le prélèvement des échantillons de terre,
- l'évaluation des techniques d'analyse,
- l'interprétation des résultats,
- la nécessité de régionaliser le conseil.

4-2- La vulgarisation

Le travail de développement doit apporter un plus à l'agriculteur et la part pédagogique du travail ne doit pas être négligée. Pour cela, des réunions de pilotage ou de compte rendu, le tour de plaine, les démonstrations, les schémas décrivant pour chaque

parcelle le parcours d'élaboration des rendements, se sont révélés des moyens adaptés.

Aussi, le contenu de l'information doit tenir compte des besoins de l'agriculteur et de ses préoccupations qui sont le plus souvent d'ordre technique et économique.

En effet, la technique et l'économique constituent le point d'ancrage qui servirait au raisonnement de l'agriculteur. En fait, il faut vérifier la pertinence des références acquises et leur valeur dans le contexte même des pratiques agricoles et dans quelles conditions elles peuvent être diffusées et utilisées par les agriculteurs.

CONCLUSION

Il s'agit maintenant de prendre du recul par rapport à la caractérisation qui vient d'être présentée et voir quelles sont les enseignements qui se dégagent par rapport aux objectifs fixés, en particulier, celui de faire exprimer en culture le potentiel des variétés actuelles, notamment, par une meilleure maîtrise du raisonnement de la fertilisation.

Cette action devrait générer des gains de productivité et concourir à améliorer les marges des producteurs. Ainsi, deux axes semblent être incontournables.

L'adaptation des apports d'engrais aux exigences des cultures, aux propriétés des sols et aux systèmes d'exploitations, ce qui impose de disposer de références de conduite. Ces références doivent tenir compte des besoins de l'agriculteur et de ses préoccupations.

Raisonner la fertilisation; c'est décider d'un certain nombre d'actions en considérant la réalité de façon globale, dans toute sa complexité. Ce raisonnement requiert un minimum de connaissances (information et formation), un certain esprit de synthèse ; sans exclure le bon sens, bien entendu.

EFFET DE LA FORME D'AZOTE SUR LA PRODUCTIVITE DE LA TOMATE ET LE LESSIVAGE DES NITRATES ET AUTRES ELEMENTS FERTILISANTS DANS LESS SOLS SABLEUX DU MASSA

MIMOUNI, A. ; BOUZOUBAA, Z. ; ID BOUJJA, L. & HADDOUCHE M.¹

RESUME

Les engrais azotés utilisés pour la fertigation de la tomate sous serre dans les sols sableux du Massa sont dans la majorité des formes nitriques (KNO_3 , $MgNO_3$, HNO_3 , NH_4NO_3 ,...). Ces engrais sont chères et peuvent contribuer à la pollution de la nappe par les nitrates. Afin de réduire l'apport de l'azote sous forme nitrique, une étude a été menée au champ pour comparer l'effet de quatre rapports NH_4^+/NO_3^- (80/20, 60/40, 40/60 et 18/72) sur le rendement et la qualité de la tomate. Le lessivage des nitrates et des autres éléments fertilisants a été étudié aussi pour les quatre rapports.

L'apport de l'azote sous forme ammoniacale dominante par rapport à la forme nitrique permet une meilleure assimilation de l'azote par la variété de tomate Daniela et donne des rendements élevés qui peuvent atteindre environ 200 t/ha sur 14 bouquets pour le rapport 40/60. Cependant, l'apport excessif de l'azote sous cette forme ammoniacale (80% de NH_4^+ et 20% de NO_3^-) réduit le rendement exportable et augmente la proportion des déchets. Inversement, l'apport de l'azote

sous forme nitrique en grande proportion (72% NO_3^- et 18% de NH_4^+) donne un rendement total faible mais améliore la part du rendement exportable. De point de vue qualitatif l'apport de l'azote sous forme ammoniacale à des proportions élevées (80%) affecte nettement la fermeté des fruits. Par ailleurs, l'apport modéré sous forme ammoniacale de l'azote (40%) améliore la fermeté des fruits.

L'apport de l'azote sous forme ammoniacale dominante (80 et 60% de NH_4^+) permet un lessivage des nitrates faible par contre celui des cations est élevé. Cependant, l'apport de l'azote sous forme nitrique dominante (72%) aboutit à un lessivage important des ions NO_3^- allant jusqu'à 43ppm. Par ailleurs, l'apport de l'azote avec une proportion de 40% de NH_4^+ et 60% de NO_3^- permet d'obtenir le meilleur rendement total et exportable avec une proportion très faible de déchets. De même, il donne la meilleure qualité des fruits, mais le plus intéressant il permet un faible lessivage des ions nitrates dans le sol et par la suite préserve la nappe de la pollution nitrique.

al., 1990 ; Chaillou et al., 1994). En sol la tomate n'a pas de préférence entre les formes nitrique ou ammoniacale (Anestett, 1987 et Ballatore, 1968).

Dans la région du Massa, l'intensification (des variétés de tomate hautement productives, long life), a poussé les agriculteurs à pratiquer une fertilisation basée sur leur expérience en donnant des doses très élevées dès l'apparition d'un problème (parfois loin d'être nutritif). A partir des années 90 une nouvelle technique a été introduite dans la région il s'agit de la fertigation. Cette technique permet, si elle est bien conduite d'optimiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des éléments fertilisants par la plante. Elle a connu un essor très important et a occupé une superficie d'environ 5000 ha en 1999. Pour cette dernière technique, les agriculteurs apportent chacun ses doses, qui diffèrent d'une exploitation à l'autre, d'une année à l'autre, sans bases d'analyses de l'eau, du sol et de la plante. Elle a imposé aux agriculteurs l'utilisation des engrais les plus solubles pour la confection de solutions nutritives tels que le nitrate de potasse, le nitrate de chaux, l'Ammonitrate, l'acide nitrique,.. Toutes ces formes nitriques posent deux problèmes majeurs: En plus de leurs prix élevés, elles causent des problèmes de pollution nitrique aggravée par les sols sableux, la fréquence des irrigations et le climat des serres.

INTRODUCTION

Les plantes absorbent principalement l'azote du sol sous la forme d'ions minéraux nitrate NO_3^- ou ammonium NH_4^+ (Chaillou et Lamaze, 1997). L'assimilation mixte est souvent de règle. La nutrition mixte (NO_3^- , NH_4^+) permet généralement une production de matière sèche plus

élevée (de 10 à 20 %), donc une meilleure croissance, qu'avec l'un ou l'autre des deux ions apportés séparément (Volk et al., 1992). La proportion de nitrate et d'ammonium absorbé varie suivant les espèces et les conditions d'environnement (Morot-Gaudry, 1997).). Par exemple le soja absorbe jusqu'à deux fois plus d'ammonium que de nitrate (Vessey et

MATERIEL ET METHODES

1- Lieu de l'essai

L'essai a été installé au domaine expérimental Melk-Zhar, situé à Belfaa à 40 km au sud d'Agadir. Les sols des parcelles expérimentales sont du type

¹ Ingénieurs à l'ORMVA de Souss Massa

brun calcaire ayant une texture sablo-limoneuse avec en moyen 79,6% de sable, 15% de limon et 5,4% d'argile. Le pH du sol est alcalin (8,2) et la CEC est très faible (5,75 méq/100g)

2- Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un bloc aléatoire complet (BAC) avec 4 répétitions. Le facteur étudié est : le rapport $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ avec 4 traitements :

T0 = 18% de NH_4^+ et 72% de NO_3^-
 T1 = 80% de NH_4^+ et 20% de NO_3^-
 T2 = 60% de NH_4^+ et 40% de NO_3^-
 T3 = 40% de NH_4^+ et 60% de NO_3^-

Les doses utilisées sont : 640 U de N, 220 U de P_2O_5 et 700 U de K_2O .

La serre utilisée est du type "Canarienne", l'essai occupe 600m². Les parcelles élémentaires : 12 X 0,5 m² soit environ 80 plants en lignes jumelées. Cette parcelle a été divisée en deux parties, une de 3,5 m avec un drainage contrôlé et l'autre de 8,5 m sans drainage.

3- Observations et analyses :

a- Analyses du sol du drainât au cours du temps (chaque 15 jours) :

- L'azote total par la méthode Kjeldahl.
- Les ions NH_4^+ et NO_3^- par la méthode SKALAR, l'extraction a été faite par le chlorure de potassium 1M pendant une heure avec une proportion de 1 : 10 (Houba et al., 1988; Black, 1986).
- Le calcium, le potassium et le magnésium sont déterminés par spectrophotométrie d'absorption atomique.
- Le phosphore par colorimétrie.

b- Analyse du végétal

- Rendement : par bouquet et par calibre.
- Fermeté, matière sèche et acidité

RESULTATS ET DISCUSSION

1- Effets des formes d'azote sur les composantes du rendement.

a) Effet sur le rendement global.

Le rendement global a été "calculé" à partir du 14^{ème} bouquet. Dans le tableau 1, l'analyse statistique montre une différence très hautement significative entre les différents traitements. En effet le traitement T3 (40/60) a donné le rendement le plus élevée (200t/ha) par rapport aux autres traitements. Les traitements T2 et T1 ont donné des rendements similaires supérieurs à ceux donnés par le traitement T0 (ces deux traitements ont donné respectivement 179t/ha et 176t/ha). Le traitement T0 a donné le rendement le plus faible par rapport aux autres traitements.

Les différences entre les différents traitements pour le rendement total peuvent être expliquées par le fait que l'apport de l'azote sous forme nitrique avec une garde proportion (80%) par rapport à l'apport sous forme ammoniacale (20%) ne permet pas une assimilation adéquate de l'azote vue le type de sol sableux qui lessive une grande quantité d'azote sous forme nitrique sans que la plante l'utilise. De même, l'apport du potassium et du magnésium sous forme sulfurique peut gêner l'absorption des ions NO_3^- (effet antagoniste des ions sulfate SO_4^{--}). L'apport aussi excessive des ions NH_4^+ (80 et 60%) peut gêner l'absorption de l'azote sous cette forme. Ceci peut être expliqué par le fait que les ions NH_4^+ peuvent inhiber l'absorption de l'eau comme l'ont déjà expliquée Stuart et Haddock (1967); Derel et Haddouk (1968) et Quebedeaux et Ozbun (1973).

En effet, l'excès en ions NH_4^+ conduit à la production du gaz ammoniacale (NH_3) à un pH élevé inhibe l'absorption de l'eau. De même, ceci peut être expliqué par l'inhibition de l'absorption des ions nitrates par les ions ammonium dû à un ou des produits de l'ammonium (Clarkson, 1986). Le rendement enregistré par le traitement T3 peut être expliqué par le fait que le rapport $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (40/60) a permis une meilleure absorption de l'azote de la plante. En effet, avec ce rapport l'absorption de l'eau n'est pas inhibée et que la présence abondante des ions sulfate (SO_4^{--}) permet une meilleure absorption directe des ions NH_4^+ . De même, d'après Volk et al. (1992), la nutrition mixte équilibrée permet généralement une production de matières sèches plus élevée. De même, dans cette forme (40 NH_4^+ /60 NO_3^-), les nitrates sont peu lessivés donc mieux assimilés par la plante.

b) Effet sur le rendement exportable

Pour comparer d'une manière objective les différents traitements pour le rendement exportable, il est préférable de comparer le pourcentage du rendement exportable. La comparaison des différents pourcentages montre une différence très hautement significative. Les traitements T0 et T3 ont donné des pourcentages exportables supérieurs à ceux donnée par T1 et T2 (tableau 1). Ces différences peuvent être dues au fait que l'apport excessif de l'azote sous forme ammoniacale inhibe l'absorption

Tableau 1 : Effet des formes d'azote sur les différentes composantes du rendement.

	Rdt Total (t/ha) (1)	Rdt Exp (t/ha) (2)	(2)/(1) (%)	Rdt Non exp. (t/ha) (3)	(3)/(1) (%)	Ecart (t/ha) (4)	(4)/(1) (%)
T0	158 a	110 a	69,6 b	54,8 a	29,0 a	3,2 a	2,0 a
T1	176 b	109 a	61,9 a	55,4 a	31,5 a	11,4 b	6,5 b
T2	179 b	117 b	65,1 a	51,9 a	29,0 a	10,0 b	5,6 b
T3	200 c	139 c	69,7 b	57,8 a	28,9 a	3,2 a	1,6 a
Test	(0,01) ***	(0,01) ***	(0,01) ***	NS	NS	(0,05) **	(0,05) **

Rdt = Rendement Exp. = Exportable

de l'eau (Suart et Haddouk, 1967 ; Derel et Haddouk, 1968 ; Quebedeaux et Ozbun, 1973), cette inhibition d'absorption de l'eau inhibe en même temps l'absorption des autres éléments le potassium, le phosphore, le magnésium,...). De même, d'après Chaillou et al. (1986) et Faune et al. (1997), l'excès des ions ammonium inhibe l'absorption des cations (K+, Ca++ et Mg++). Une corrélation négative très hautement significative lie le pourcentage du rendement exportable à la proportion de NH₄⁺ (r = -0,84***). Ceci montre l'effet négatif des ions NH₄⁺ sur le calibre des fruits.

c) Effet sur les rendements vendables et les écarts.

Le rendement vendable est le rendement qui ne peut pas être exporté (sans restriction du marché) moins vendu au marché local. L'analyse statistique n'a pas montré de différence significative entre les différents traitements (tableau 1). Cependant, pour les écarts la différence est hautement significative entre les traitements. Les traitements T0 et T3 sont semblables et ont donné des écarts inférieurs à ceux enregistrés par T1 et T2 semblable. Ces différences peuvent être expliquées par la même explication que le rendement exportable.

2- Effet des formes d'azote sur la qualité de la tomate.

a) Effet sur la fermeté.

L'analyse statistique a montré une différence très hautement significative entre les traitements. En effet, le traitement T3 a donné les fruits les plus fermes que les autres traitements. Ce traitement est suivi par le traitement T0, puis par le traitement T2 et enfin le traitement T1 (tableau 2). Ces différences entre les traitements peuvent être expliquées par le fait que l'apport de l'azote sous forme ammoniacale (NH₄⁺) dominante (T1 et T2), l'absorption du potassium se fait difficilement vue son antagonisme avec l'ion NH₄⁺ d'où la faible fermeté enregistrée. Cette explication est prouvée pour les traitements T1 et T2. En effet, dans le traitement T1 ayant un

apport en NH₄⁺ égal à 80% a une fermeté plus faible par rapport à T2 ayant un apport en NH₄⁺ égal à 60%. Cette hypothèse est justifiée par la corrélation très hautement négative liant la proportion de NH₄⁺ et la fermeté (r = -0,91***). Ceci s'explique par le rôle joué par le potassium dans la fermeté des fruits.

Tableau 2 : Effet des formes d'azote sur la qualité des fruits

	Fermeté (g/cm ²)	Matière sèche (%)	Acidité
T0	401 c	5,48 a	4,5 a
T1	345 a	5,90 b	4,5 a
T2	378 b	5,72 ab	4,4 a
T3	404 c	5,55 a	4,5 a
Test	(0,01)***	(0,01)***	NS

b) Effet sur la matière sèche.

L'analyse statistique a montré qu'il y a une différence hautement significative entre les traitements. En effet, les traitements T0 et T3 ont des teneurs en matière sèche identiques et inférieures à celles des deux autres traitements. Ces deux traitements sont suivis par le traitement T2 et enfin le traitement T1 ayant le taux de matière sèche le plus élevé (5,90%) (tableau 2). Ces différences entre ces traitements peuvent être expliquées comme précédemment. En effet, une fois la proportion des ions NH₄⁺ augmente, l'absorption de l'eau est inhibée et la concentration en matière sèche devient plus élevée (Stuart et Haddouk, 1967 ; Derel et Haddouk, 1968 ; Quebedeaux et Ozbun, 1973). Ceci est confirmé par la corrélation positive liant la teneur en matière sèche et la proportion de NH₄⁺ (r = 0,89***).

c) Effet l'acidité.

L'analyse statistique a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements (tableau 2). Ceci peut être expliqué par le fait que la concentration des ions H₃O⁺ des fruits est non régie par l'apport des formes azotées NH₄⁺ et NO₃⁻ mais elle est régie par les mécanismes physiologiques qui régule les ions dans les cellules constituant le fruit.

3- Effet des formes d'azote sur le lessivage des nitrates et autres éléments fertilisants.

a) Effet sur le lessivage des nitrates

Dans les drainats des différentes formes, la teneur en NO₃⁻ est très hautement significative. En effet, dans le traitement T0, le drainat est plus riche en ion NO₃⁻ par rapport aux autres traitements. Il est suivi par les traitements T3 et T2 ayant présentés presque les mêmes teneurs en nitrates et enfin le traitement T1 ayant présenté la plus faible teneur. Une corrélation positive lie la teneur en NO₃⁻ du drainat et la proportion de NO₃⁻ apportée pour chaque traitement. Ceci veut dire qu'une fois qu'on apporte plus d'ions nitrates dans la solution nutritive plus on aura un lessivage des ions NO₃⁻ dans le sol et par la suite une pollution élevée de la nappe phréatique. On remarque aussi pour les traitements T0 et T3 où les rapports NO₃⁻ sont proches (72 et 60%) on a une différence très hautement significative entre ces deux traitements pour les nitrates dans le drainat (43 et 21 mg/kg). Ceci peut être expliqué par le fait que l'apport des ions NO₃⁻ sous forme d'acide nitrique facilite leur lessivage par rapport à leur apport sous forme d'ammonitrate. Ceci est confirmé par la relation positive très hautement significative entre la quantité des ions NO₃⁻ dans le drainat et la proportion des ions NO₃⁻ apportée sous cette forme d'azote (r = 0,85***).

Dans le sol sans drainage on remarque que la teneur moyenne en NO₃⁻ diffère d'une manière peu significative entre les traitements. En effet, dans le traitement T0 le sol contient (fin de culture) environ 8,3 ppm en ions NO₃⁻. Cette quantité est supérieure à celles trouvées dans les autres traitements renfermant respectivement 6,8 ; 7,1 et 7,4 ppm pour T1, T2 et T3. Cette différence peu significative entre les traitements montre l'effet de la texture sableuse du sol sur le lessivage des nitrates puisque dans les parcelles avec drainage la différence est hautement significative entre les traitements (tableau 3).

Tableau 3 : Effet des formes d'azote sur le lessivage des nitrates et autres éléments fertilisants

	NO ₃ - (ppm)		NH ₄ ⁺ (ppm)		K ⁺ (ppm)		P (ppm)	
	D	S	D	S	D	S	D	S
T0	43,5 c	8,5 a	7,5 a	5,3 a	0,8 a	123 b	0,05 a	54,3 b
T1	12,8a	6,8 ab	13,0 b	7,8 ab	6,0 c	121 a	0,02 a	41,3 a
T2	19,8 b	7,3 ab	8,5 a	6,5 ab	2,6 b	122ab	0,03 a	44,0 a
T3	21,0 b	7,5 b	8,0 a	6,0 ab	1,2 a	123 b	0,06 a	42,5 a
Test	(0,01) ***	(0,05)*	(0,01) **	(0,05) **	(0,01) ***	(0,05) *	NS	(0,01) ***

D= Drainage S= Sol

REFERENCES

- Anstett 1987. Mémento de fertilisation des cultures légumières. Tomate. CTIFL. p. 371-381.
- Ballatore, G.P. 1968. Fertilisation intensive de la tomate forcée sous plastique. C.R. du 6^{ème} Colloque de l'Institut International de la potasse.
- Black, C.A. (editor). 1986. Methodes of Soil Analysis. Agronomy Series No. 9, ASA Madison, Wisconsin, U.S.A. Part 2 : Chemical and Microbiological Properties, p. 991-993.
- Chaillou S., Rideout J.W., Paper C.D., Morot-Gaudy J.F., 1994. Response of soybean to ammonium and nitrate supplied in combination to the whole root system or separately in a split-root system. *Physiol. Plant.*, 90, 259-268.
- Chaillou et Lamaze. 1997. Nutrition ammoniacale des plantes. In « Assimilation de l'azote chez less plantes ». (J.F. Morot-Gaudry, éd.). 67-83.
- Clarkson. 1986. Regulation of the absorption and release of nitrate by plant cells: A review of current ideas and methodology. Dans *Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants*, Lambers H., Neeteson J.J., Stulen I. (éds), Martinus Nijhoff. Dordrecht, 3-27.
- Derrel, M.S., et Haddouk, J.L. 1968. Inhibition of water uptake in sugar beet roots by ammonia. *Plant Physiol.* 43 : 345-350.

c) Effet sur le lessivage du potassium K⁺

Pour tous les traitements, les concentrations en ions K⁺ sont très faibles allant de 0,83 ppm pour le traitement T0 à 6,03 ppm pour T1. Une différence très hautement significative entre les différents traitements. En effet, les traitements T0 et T3 ont présenté les quantités les plus faibles en ion K⁺ dans le drainât. Ces deux traitements sont suivis par le traitement T2 et enfin le traitement T1 ayant donné la concentration la plus élevée en ions K⁺ dans le drainât (6,03 ppm). Ceci veut dire qu'une fois on augmente l'apport de l'azote sous forme ammoniacale le drainage des ions K⁺ augmente. En effet, une corrélation positive très hautement significative lie la proportion des ions NH₄⁺ et la concentration des ions K⁺ dans le drainât ($r = 0,92^{***}$). Tout cela peut être expliqué par la texture sableuse du sol, la CEC faible (environ 5,75 méq/100g) et par la présence d'une quantité très faible d'argile (5,4%). Ceci peut être du à la présence des ions SO₄⁻ qui facilite l'absorption des ions K⁺. Ceci confirme aussi les hypothèses sur la fermeté des fruits. En effet, le traitement T1 ayant présenté la concentration la plus élevée en potassium dans le drainât (6,03 ppm) a donné la fermeté la plus faible (345 g/cm²) par rapport aux autres traitements.

Pour la concentration du potassium assimilable dans le sol, la différence entre les traitements est peu significative. En effet, le traitement T1 a présenté une concentration de l'ordre de 120,5 ppm, la plus faible par rapport aux autres traitements suivit par le traitement T2 avec une concentration de l'ordre de 122 ppm et enfin les traitements T0 et T3 ayant des concentrations similaires de l'ordre de 123 et 122,5 ppm respectivement. Ceci montre l'apport excessif du potassium (moyenne de la région) et la mobilité très faible du potassium dans le sol malgré la capacité très faible de ce type de sol de retenir les cations (CEC et taux d'argile faibles).

d) Effet sur le lessivage du phosphore (H₂PO₄⁻ et HPO₄⁻)

b) Effet sur le lessivage des ions NH₄⁺

Pour tous les traitements, les concentrations en ions NH₄⁺ sont faibles de l'ordre de 7,5 ppm pour le traitement T0 à 13 ppm pour T1. Une différence très hautement significative entre le traitement T0 et les autres traitements. En effet, le traitement T1 a drainé plus d'ions NH₄⁺ par rapport aux autres. Ceci peut être expliqué par la texture sableuse du sol et la présence d'une quantité très faible d'argile (5,4%) ainsi qu'à l'apport excessif d'ions NH₄⁺ sous forme d'engrais azotés. Cette dernière explication importe peu puisque dans les traitements T2 et T3 ayant des proportions en ions NH₄⁺ (60 et 40%) proche de celle du T1 (80%) qui a drainé une faible quantité d'ions NH₄⁺. Ceci peut être du à la présence des ions SO₄⁻ qui facilite l'absorption directe des ions NH₄⁺.

Pour la concentration des ions NH₄⁺ dans le sol, la différence entre les traitements est peu significative. En effet, le traitement T0 a présenté une concentration de l'ordre de 5,25 ppm, la plus faible par rapport aux autres traitements ayant des concentrations similaires de l'ordre de 7,75 ; 6,5 et 6 ppm respectivement pour T1, T2 et T3. Ces concentrations très faibles présentées dans le sol montrent l'effet compensateur des ions SO₄⁻ pour l'absorption directe des ions NH₄⁺. De même, ceci montre la faible capacité de ce type de sol à retenir les cations (CEC et taux d'argile faibles).

REFERENCES

- Houba, V. Van der Lee, J.J. Novozamsky, I. 1988. Soil analysis Procedures, Departement of Soil Science and Plant Analysis, Wageningen, The Netherlands.
- Mimouni et Sedki 1999. La fertilisation des principales cultures maraîchères dans le périmètre du Massa. In 1^{er} Congrès National sur l'Utilisation des Engrais. Méknès. Mai.
- Morot-Gaudry 1997. Sources et cycle de l'azote. In « Assimilation de l'azote chez les plantes ». (J.F. Morot-Gaudry, éd.). 21-25.
- Quebedeau, B., Ozbun, J.L. 1973. Effects of ammonium on water stress, water up take and rot pressure in *hycoperscion esculentum* Mill., *Plant Physiol.* 52, 677-679.
- Stuart Haddock 1967. Le contrôle de l'irrigation à l'aide des sondes nucléaires. *Hommes terre et eaux.* Vol. 12, n° 47, pp 948-951.
- Vaisman I.J., Shalhevet T., et A. Feigin 1981. Reducing groundwater pollution from municipal wastewater irrigation of Rhodes grass on sand dunes. *Journal of Environ. Quality*, 10, 434-439.
- Vessey J.K., Henry L.T., Chaillou S., Paper C.D., 1990. Root-zone acidity affects relative uptake of nitrate and ammonium from mixed nitrogen sources. *Plant Nutrition*, 13, 95-116.
- Volk R.J., Chaillou S., Mariotti A., Morot-Gaudry J.F., 1992. Beneficial effects of concurrent ammonium and nitrate nutrition on the growth of *Phaseoul vulgaris*: a ¹⁵N study. *Plant Phiyiol.* *Biochim.*, 30, 487-493.

Les analyses des drainât pour les différentes formes du phosphore n'ont pas révélées aucune présence effective du phosphore. Ceci est conforme aux travaux de recherche menés par plusieurs auteurs. En effet, Vaisman et al. (1981) n'ont pas trouvé plus de 0,5 ppm de phosphore dans un drainât d'un couvert gazonné ayant reçu une fertigation pendant deux années.

Concernant le phosphore dans le sol, la différence entre T0 et les autres traitements (semblables) est très hautement significative. Une corrélation positive hautement significative lie la concentration du phosphore assimilable dans le sol et la proportion des ions nitrates apportée ($r= 0,74^{**}$). Ceci montre l'effet de l'apport de la forme nitrique en engrais sur la non assimilation des ions H_2PO_4 et HPO_4 — (ayant le même signe que NO_3^-) surtout en milieu alcalin (pH du sol égale à 7,2).

CONCLUSION

A travers cette étude on peut conclure que l'apport de l'azote sous forme ammoniacale dominante par rapport à la forme nitrique permet une meilleure assimilation de l'azote par la variété de tomate Daniela et donne des rendements élevés qui peuvent atteindre 250 t/ha sur 14 bouquets. Cependant, l'apport excessif de l'azote sous cette forme (80% de NH_4^+ et

20% de NO_3^-) réduit le rendement exportable et augmente la proportion des déchets. Inversement, l'apport de l'azote sous forme nitrique en grande proportion (72% NO_3^- et 18% de NH_4^+) donne un rendement total faible mais améliore le pourcentage du rendement exportable.

De point de vue qualitatif on peut conclure que l'apport de l'azote sous forme ammoniacale à des proportions élevées (80%) affecte nettement la fermeté des fruits. Cependant, il enrichit les fruits en matière sèche. Par ailleurs, l'apport modéré sous forme ammoniacale de l'azote (40%) améliore la fermeté des fruits.

Concernant le lessivage des nitrates et les autres éléments nutritifs dans le sol on peut conclure que l'apport sous forme ammoniacale dominante (80 et 60%), le lessivage des nitrates est faible par contre celui des cations est élevé. Cependant, l'apport de l'azote sous forme nitrique dominante (72%) aboutit à un lessivage important des ions NO_3^- allant jusqu'à 43ppm. Par ailleurs, l'apport de l'azote avec une proportion de 40% de NH_4^+ et 60% de NO_3^- permet d'obtenir les meilleurs rendements total et exportable avec une proportion très faible de déchets. De même, il donne la meilleure qualité des fruits, mais le plus intéressant il permet un faible lessivage des ions nitrates dans le sol et par la suite préserve la nappe de la pollution nitrique.

PRATIQUES DES AGRICULTEURS EN MATIERE DE CONDUITE DES CULTURES ET MAITRISE DE LA FERTILISATION¹

CHOURAICHI. M² - ACHKAR. M³

INTRODUCTION

Le système d'irrigation actuel (aspersion) utilisé dans le sous secteur A du secteur R'Mel du Loukkos pose de nombreux problèmes : pertes de grandes quantités d'eau, consommation excessive d'énergie, engorgement des sols par remontée de la nappe due à la sur-irrigation et pollution des eaux souterraines causée par la lexiviation des nitrates.

L'objectif principal du projet TCP/MOR/8822 est l'appropriation par les agriculteurs de nouvelles techniques, performantes et économisatrices d'eau d'irrigation et permettant de limiter la consommation énergétique.

L'introduction de l'irrigation localisée liée à la fertigation par le biais des essais de démonstration chez les agriculteurs doit permettre de réduire le gaspillage d'eau et d'énergie et d'atténuer les effets néfastes sur l'environnement en favorisant une forte augmentation des rendements des cultures.

Le sous secteur A du secteur R'Mel du Loukkos présente des conditions pédo-climatiques favorables à une agriculture irriguée intensive à haut rendement telles que la fraise et la pomme de terre.

Malgré l'encadrement par l'équipe pluridisciplinaire, le suivi des essais sur le terrain a permis de constater que les doses d'irrigation apportées et les quantités d'engrais utilisées par les agriculteurs sont trop élevées surtout pour la culture du fraisier.

Ce rapport traite des aspects relatifs à la caractérisation du sol, à l'établissement des doses d'irrigation, des doses d'engrais et des plans de

fumure et à l'évaluation des pratiques des agriculteurs en matière de conduite des cultures du fraisier et de la pomme de terre et propose des recommandations relatives aux techniques de fertigation (programmes de fertilisation).

1- CARACTERISATIONS DES PARCELLES DE DEMONSTRATION

1.1- Choix des agriculteurs et échantillonnage :

Pour choisir les agriculteurs chez qui vont être mener les essais de démonstration une enquête auprès de l'ensemble des agriculteurs du sous secteur A du secteur R'Mel du Loukkos (269 agriculteurs) a été réalisée. Les critères de choix élaborés par une équipe pluridisciplinaire sont le statut du terrain et mode de faire valoir; solvabilité et degré de remboursement des dettes; capacité financière; capacité d'innovation; degré d'influence; gestion de l'irrigation; technicité culturale et disposition à entreprendre d'autres cultures.

Dix huit agriculteurs ont été retenus dont les six premiers ont bénéficié du matériel d'irrigation localisée, les six suivants ont bénéficié du matériel d'aspersion et les six derniers ont été choisis comme témoins. La superficie équipée pour chaque exploitation est de 1 ha.

Les analyses du sol réalisées dans le cadre du projet ont pour but de déterminer les caractéristiques hydriques et l'évaluation de la fertilité des sols des 12 exploitations de démonstration.

Pour cela nous avons prélevé un échantillon composite à raison de 9

prélèvements par parcelle de 1 ha sur une profondeur de 30 cm. Par la suite nous avons étendu les prélèvements à tout le sous secteur A du secteur R'Mel afin de déterminer les doses d'irrigation pour tout ce sous secteur déjà réhabilité. Le nombre total de parcelles prélevées est de 36 : soit 12 parcelles de démonstration plus 24 autres parcelles réparties dans tout le sous secteur A. Pour déterminer la perméabilité verticale de ces sols, les mesures ont été réalisées sur le terrain par la méthode des doubles anneaux (Müntz) et pour la densité apparente c'est la méthode au sable qui a été choisie.

1.2- Caractéristiques physico-chimiques des sols

L'analyse des résultats présentés dans le tableau 1 montre que les sols du secteur R'Mel du Loukkos/sous secteur A sont caractérisés par une texture sablo-limoneuse à sableuse avec un taux de sable moyen de 84%⁰, un pH faiblement acide à neutre (pH=6,65) une capacité d'échange cationique très faible, des teneurs en matière organique, en azote total, en potassium échangeable faibles à très faibles. Toutefois ces sols sont caractérisés en plus par une teneur en phosphore assimilable très élevée.

1.3- Plan de fumure

Le plan de fumure recommandé, en se basant sur les résultats des analyses du sol donnés dans le tableau 1 précédent et en fonction du rendement attendu de la culture pratiquée, est présenté dans le tableau 2.

¹ Projet TCP/MOR/8822 : appropriation de nouvelles techniques d'économie d'eau à la parcelle dans la zone du Loukkos

² Administration du Génie Rural / Direction du Développement et de la Gestion de l'Irrigation /SEEN

³ ORMVAL (Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Loukkos)

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols du sous secteur A

Paramètres	Moy	Ecart Type	CV%	Max	Min
A%°	44,21	9,33	21,12	69,5	26,8
L%°	117,58	36,49	31,03	192,7	48,7
S%°	841,19	38,74	4,61	918,5	755,5
CaCo3%°	0,14	0,63	452,19	3,5	0
Phi	6,65	0,50	7,49	7,5	5,5
M.O%°	7,67	1,50	19,54	11,3	4,7
Azote%°	0,51	0,12	24,29	0,77	0,35
P2O5%°	0,10	0,02	20,82	0,17	0,0475
K2O%°	0,07	0,03	42,94	0,16	0,028
MgO%°	0,05	0,05	92,83	0,2	0,005
CECmèq/Kg	45,63	8,25	18,07	62,5	35
C.E ds/m	0,08	0,08	97,35	0,49	0,03

1.4- Caractéristiques hydriques des sols

La dose d'irrigation est assimilée à la réserve facilement utilisable (RFU) qui est fonction de l'humidité à la capacité au champ, de l'humidité au point de flétrissement, de la densité apparente et de la profondeur d'enracinement de la culture installée. Ce dernier paramètre très important est fonction du développement du système racinaire de chaque culture ; Le suivi des essais de démonstration chez les agriculteurs nous a permis de déterminer les profondeurs d'enracinement qui sont de 30 et 45cm respectivement pour le fraisier et la pomme de terre.

L'analyse du tableau n°3, montre que ces sols sont caractérisés par une RFU très faible : 8,74 mm pour une profondeur de 30 cm et une perméabilité élevée (20 cm/heure).

1.4.1- RFU

La RFU moyenne de ces sols pour les principales cultures est présentée dans le tableau 4.

1.4.2- Doses d'irrigation

Les doses brutes d'irrigation déduites de la RFU pour l'irrigation localisée (E=90%) sont résumées dans le tableau n°5.

Les analyses du sol et le suivi des profondeurs d'enracinement nous ont permis de déterminer des doses d'irrigation faibles, soit une économie d'eau de 33% par rapport à la dose d'irrigation préconisée et conseillée par les études de base pour les cultures maraîchères dans ce secteur(R'Mel).

Tableau 2: Plan de fumure

Culture	Rdt T/ha	Fumier T/ha	N Kg/ha	P2O5 Kg/ha	K2O Kg/ha	MgO Kg/ha
Fraisier	45	28-40	145	0	260	0
P.de terre	40	27-33	210	0	240	0

Tableau 4 : RFU (mm)

Culture	Moyenne	Min.	Max.
Fraisier	9	5,8	12,4
Pomme de terre	13,5	8,8	19,0

2- CONDUITE DES CULTURES

Parmi les six parcelles de démonstration équipées en irrigation localisée, quatre ont pratiqué la culture de la pomme de terre, les deux autres ont installé la culture du fraisier. Quant aux exploitations équipées en irrigation par aspersion, elles ont été réservées à la pomme de terre.

Les essais ont été suivi par l'équipe pluridisciplinaire du projet qui fournit aux agriculteurs les conseils de fumure calculés à partir d'analyses de sol et des informations plus précises sur la fertigation et les programmes de fertilisation.

2.1 fraisier

2.1.1- Installation de la culture

La plantation a été effectuée durant le mois d'octobre 1998.

Tableau 3 : Caractéristiques hydriques des sols du secteur R'Mel du Loukkos/sous - secteur A

Caractéristiques	Moy.	Ecart type	CV %	Min.	Max.
Perméabilité surface cm/h	20,2	4,58	22,66	10,4	34,6
Perméabilité profondeur cm/h	19,2	2,82	14,69	12,9	26,7
Densité apparente 0-30cm	1,46	0,06	3,93	1,33	1,63
Densité apparente 30-60cm	1,52	0,04	2,70	1,40	1,61
Hcr %	6,06	0,95	15,63	4,61	8,19
Hpf %	3,06	0,40	13,01	2,31	3,93
RFUmm profondeur=30cm)	8,74	1,92	22,0	5,77	12,44

Tableau 5 : Dose brute d'irrigation (mm) (Localisée E=90%)

Culture	Moyenne	Min.	Max.
Fraisier	10	6,4	13,8
Pomme de terre	15	9,8	21,1

La variété Camarossa a été utilisée pour les essais de démonstration, introduite récemment au Maroc, originaire des Etats Unies, c'est une plante de type remontante à port dressé, à végétation vigoureuse, aérée et à bon rendement ; maturité précoce. C'est une variété à faible besoin en froid qui s'adapte bien sous des tunnels en plastique aux conditions pédo-climatiques du Loukkos.

La densité de plantation utilisée varie environ entre 62.000 et 64.000 plants/hectare, en ligne jumelée avec une distance entre plants de 25 cm et entre ligne de 1,20 m. (tableau 6).

Le paillage des billons en plastique noir est réalisé par les 2 agriculteurs.

Tableau 6 : Pratiques des agriculteurs

	Ettaiga	Hssika
Préparation du sol	labour moyen + cover - cropage + billonnage	labour moyen + cover - cropage + billonnage
Précédent cultural	arachide	arachide
Date de semis	18/10/98	24/10/98
Variété	Camarossa	Camarossa
Densité Nbre de plants/ha	62.000	64.000
Ligne	Jumelée	Jumelée
Ecartement	1,20m	1,20m

2.1.2- Apports

L'apport du fumier est effectué assez tard, une semaine à dix jours avant la plantation. Le matériel utilisé pour l'irrigation est la gaine souple, qui donne un débit de 1/h. Juste après la plantation, les 2 agriculteurs ont effectué une irrigation par aspersion (bassinage). Le volume total d'eau d'irrigation consommé est de 6113,3m³/ha pour le premier agriculteur et 5787,5m³/ha (cf. Tableau 7)

Tableau 7 : Apports réalisés par les agriculteurs

Exploitation	Ettaiga	Hssika
Fumier (t/ha)	50	45
Engrais de fond	14-28-14 sulfate de potasse	14-28-14
Fertigation	3 à 4 fois/semaine	3 fois/semaine
Traitement (pesticides)	excessif	excessif
Irrigation (m ³)	6113,3	5787,5

2.1.3- Récolte

La récolte est réalisée selon le calendrier présenté dans le tableau 8. D'après le tableau 8, on note une précocité dans la récolte chez Ettaiga qui s'explique surtout par la date de plantation qui est avancée d'une semaine par rapport à la parcelle Hssika.

Tableau 8 : Période de récolte et rendement

Agriculteur	Période de récolte	Durée de récolte
Ettaiga	10/0199 - 10/07/99	6 mois
Hssika	20/0199 - 10/07/99	5 mois 20j

2.2- Pomme de terre

2.2.1- Installation de la culture

Le matériel végétal utilisé dans les exploitations tests est : Spunta (Timate) et Mondial. La plantation a été réalisée manuellement dans l'ensemble des exploitations avec une densité de 6,15 et 4,5 plants/m², respectivement pour l'irrigation localisée et l'aspersion. La date de plantation moyenne est le 10

Tableau 9 : Pratiques culturales des agriculteurs

Parcelle	Préparation du sol	Précédent cultural	Date de semis	Variété	Densité nbre de plants/ha	Techniques d'irrigation
Bouallafa	Labour moyen + cover - cropage + billonnage	Arachide	10/01/99	Spunta / Mondial	700 / 1.000	2 l/h - 4 l/h
Rakouch	labour moyen + cover - cropage + billonnage	arachide	15/01/99	Spunta	1.300	T -Tape
Rouass	labour moyen + cover - cropage + billonnage	arachide	23/01/99	Spunta	1.600	T -Tape / H-Tape
Zakaria	labour moyen + cover - cropage + billonnage	arachide	04/01/99	Spunta / Mondial	800 / 800	2l/h - 4l/h

Janvier 1999 avec une précocité des exploitations irriguées par aspersion par rapport au localisé qui est de l'ordre d'une semaine.

La quantité de plantation varie entre 1,2 tonne et 1,7 tonne par hectare avec une supériorité dans les exploitations irriguées par le localisé (1,5T/Ha) par rapport aux exploitations irriguées par aspersion. Les techniques culturales pratiquées par les 4 agriculteurs ayant utilisé l'irrigation localisée sont semblables comme le paillage des billons en plastique noir réalisé dans les 4 parcelles de démonstration.

Le matériel utilisé pour l'irrigation est la gaine T-Tape et H-Tape pour deux agriculteurs et les goutteurs 2l/h et 4l/h pour les 2 autres (cf. Tableau 9).

2.2.2- Apports

Un exploitant parmi les quatre (localisé) a apporté le nitrate de chaux, sulfate de magnésium, le bore et l'acide nitrique et deux seulement ont apporté le potassium au cours de la tubérisation. Le volume total d'eau d'irrigation consommé varie entre 2253 et 4924m³/ha (cf. tableau 10)

Tableau 10 : Apports réalisés par les agriculteurs

Exploitation	Fumier t/ha	Fertigation	Traitement	Irrigation m ³
Bouallafa	50	2fois/semaine	moyen	3.178
Rakouch	40	2fois/semaine	moyen	2.253
Rouass	50	2fois/semaine	moyen	2.858

2.2.3- Récolte

La récolte est réalisée entre le 21/04/99 et le 23/05/99 pour les 4 agriculteurs (cf. Tableau 11)

L'analyse du tableau 11 montre que la durée du cycle végétatif varie entre 114 et 138 jours avec une moyenne de 127 jours.

Tableau 11 : Date de récolte et durée du cycle

Agri-culteur	Date de récolte	Durée du cycle (jours)
Bouallafa	23/05/99	134
Rakouch	14/05/99	120
Rouass	16/05/99	114
Zakaria	21/04/99	138

3- EVALUATION DE LA FERTILISATION APPLIQUEE PAR LES AGRICULTEURS

3.1- Fraisier

Les quantités d'engrais apportés par les agriculteurs dépassent largement les besoins de la culture du fraisier donné par le plan de fumure que nous avons établi à partir des analyses du sol et des besoins de la culture (cf. Tableau 12).

Tableau 12 : Eléments fertilisants apportés par les agriculteurs à la culture du fraisier

Agri-culteur	N Kg/Ha	P ₂ O ₅ Kg/Ha	K ₂ O Kg/Ha	Rendement T/ha
Ettaiga	479	304	600	58
Hssika	333	307	442	45
Moyenne	406	305,5	521	51,5
Préconisé	145	0	260	45

D'après le tableau 13, les calibres des fruits obtenus dans les deux

exploitations sont différents dans les 2 parcelles avec une nette dominance des gros calibres. En effet l'analyse du tableau 14 montre que la culture du fraisier présente un bilan excessif en azote pour les deux exploitations. Ces excès en cet élément ont pour conséquence la dégradation de la qualité du produit (gros calibres) et contribuent sans doute à la pollution de la nappe et expliquent les teneurs élevées des nitrates dans les eaux souterraines (30 à 70mg/l). Les bilans de la fumure phospho-potassique sont souvent excédentaires pour les deux exploitations (Ettaiga et Hssika)

Tableau 13 : Calibres des fruits

Parcelle	Calibres%		
	Gros	Moy	Hors
Ettaiga	85	13	2
Hssika	72,7	25	2,3
Moyenne	78,85	19	2,15

Sans tenir compte des apports organiques, on remarque que les apports en engrais (minéraux) réalisés par les agriculteurs dépassent de loin les besoins de la culture et les plans de fumure que nous avons préconisés. D'après le tableau 15 on constate que pour produire une tonne de fraise, les agriculteurs ont apporté 7,9 Kg N, 6Kg de P₂O₅ et 10,1Kg de K₂O au lieu de 3,2Kg N, 0 Kg P₂O₅ et 5,8Kg de K₂O selon le plan de fumure établi.

Tableau 15 : Comparaison des quantités de fertilisants apportés par les agriculteurs pour produire une tonne de fraise

Parcelle	N Kg/ha		P ₂ O ₅ Kg/ha		K ₂ O Kg/ha	
	M	M+O	M	M+O	M	M+O
Ettaiga	8	10	5	6	10	12
Hssika	7	10	7	7	10	11
Moyenne	8	10	6	7	10	11
Préconisé	3	-	0	-	6	-

M : Minéral, O : Organique ,

Tableau 14 : Bilan de la fertilisation du fraisier

Parcelle	N Kg/ha				P ₂ O ₅ Kg/ha				K ₂ O Kg/ha				Rendt/ha
	E.I	Apport M+O	E.F	B	E.I	Apport M+O	E.F	B	E.I	Apport M+O	E.F	B	
Ettaiga	24	570	33	561	525	331	677	179	763	685	1121	327	58
Hssika	29	417	34	412	440	334	533	241	342	519	447	414	45

EI : Etat initial, EF : Etat final , B : Bilan = (E.I+Apport)- E.F, M : minéral, O : organique

7,9 - 6 - 10,1 (apporté) > 3,2 - 0 - 5,8 (préconisé)

3.2- Pomme de terre

L'analyse des données présentées dans le tableau 16, montre que pour la culture de la pomme de terre les agriculteurs ont suivi plus ou moins les plans de fumure qu'on a établi à partir des analyses des sols principalement pour l'azote et le phosphore. Pour la potasse, les apports restent faibles par rapport au besoins préconisés.

Tableau 16 : Eléments fertilisants apportés par les agriculteurs à la culture de la pomme de terre

Agri-culteur	N Kg/Ha	P ₂ O ₅ Kg/Ha	K ₂ O Kg/Ha	Rendement T/ha
Bouallafa	248	22	0	55
Rakouch	191	0	72	44
Rouass	195	0	0	55
Zakaria	268	38	127	61,7
Moyenne	255,5	15	49,8	53,9
Préconisé	210	0	240	40

Pour la pomme de terre et comparativement à la culture du fraisier, le bilan de la fumure azotée est relativement équilibré au niveau des quatre exploitations tests. Toutefois on note un déséquilibre pour la potasse : en effet deux agriculteurs sur quatre n'ont pas apporté du potassium ; et les quantités apportées par les deux autres restent insuffisantes.

Pour produire une tonne de pomme de terre, les agriculteurs ont apporté en moyenne 4Kg de N; 0,2 de P₂O₅ et 0,9Kg de K₂O au lieu de 5,2 Kg de N, 0 Kg de P₂O₅ et de 6Kg de K₂O.

4 - 0 - 0,9 (apporté) ~ 5,2 - 0 - 6 (préconisé)

Tableau 17 : Bilan de la fertilisation de la pomme de terre

Parcelle	N Kg/ha				P ₂ O ₅ Kg/ha				K ₂ O Kg/ha				Rend t/ha
	E.I	Apport M+O	E.F	B	E.I	Apport M+O	E.F	B	E.I	Apport M+O	E.F	B	
Bouallafa	25	330	30	325	346	49	117	278	130	78	181	27	55
Rakouch	22	257	26	253	482	21	171	332	350	133	451	32	44
Rouass	25	276	26	275	423	27	140	310	296	77	220	153	55
Zakaria	24	358	31	351	439	65	150	354	160	209	280	89	61,7

EI : Etat initial, EF : Etat final, B : Bilan = (E.I+Apport)- E.F, M : minéral, O : organique

Tableau 18 : Comparaison des quantités de fertilisants apportées par les agriculteurs pour produire une tonne de pomme de terre

Parcelle	N Kg		P ₂ O ₅ Kg		K ₂ O Kg	
	M	M+O	M	M+O	M	M+O
Bouallafa	5	6	0,4	0,9	0	1,4
Rakouch	4	5,8	0	0,5	2	3,0
Rouass	4	5,0	0	0,5	0	1,4
Zakaria	4	5,8	0,6	1,1	2	3,4
Moyenne	4	5,7	0,2	0,8	1	2,3
Préconisé	5	-	0	-	6	-

M : Minéral, O : Organique

CONCLUSION

On peut conclure que la technique d'irrigation localisée s'adapte mieux aux conditions pédo-climatiques du sous-secteur A (RFU = 8.74 mm, perméabilité = 20 cm/heure, vitesse du vent > 1.8 m par seconde). Cette technique associée à la fertigation, si elle est bien maîtrisée, permettra une forte augmentation du rendement, de réduire les effets néfastes sur la nappe et une diminution du coût de production.

Le suivi des essais de démonstration nous a permis de constater que les doses d'engrais apportées par les agriculteurs tests sont excessives surtout pour le fraisier; ceci est dû au fait que les agriculteurs suivent généralement les conseils des fournisseurs.

4- MAITRISE DE LA FERTIGATION

Le projet TCP/MOR/8822 n'a pas intégré parmi ses principaux objectifs pendant son démarrage la composante < fertigation >. Plus tard, une mission d'expertise en fertigation a eu lieu entre en vue de :

* Participer à l'élaboration d'un calendrier de fertilisation des cultures installées dans les parcelles de démonstration ;

* Mise en œuvre de la technique de la fertigation au niveau des parcelles équipées en système d'irrigation localisée ;

* Doter le projet d'une documentation afférente ;

* Assurer la formation de l'équipe en matière de fertigation.

4.1- Impact de la Fertilisation non Raisonnée sur l'Environnement

4.1.1- Utilisation des engrais

Les différentes études réalisées au Maroc sur la contamination nitrique des eaux souterraines ont permis de mettre en évidence l'importance de cette pollution qui commence à devenir préoccupante dans certaines régions. Au niveau de toutes les nappes étudiées, certains puits présentent une eau ayant une qualité nitrique mauvaise (50 à 100 mg/l) ou très mauvaise (>100mg/l).

Le suivi de la qualité des eaux effectué par l'entité chargée de la gestion de l'environnement à l'ORMVAL a mis en évidence la dégradation des eaux de la nappe du R'mel par les nitrates. En effet le taux des nitrates dépasse 50mg/l (seuil fixé par l'O.M.S) au niveau de plusieurs puits ou forages du secteur R'mel (puits ou forages des stations de mise en pression; A : 64mg/l ; B : 80mg/l ; D : 60mg/l...).

L'utilisation abusive des engrais, environ 2.000 tonnes d'azote /an est appliquée au niveau du secteur R'mel, (150 Kg N /Ha par an), et la non maîtrise de l'irrigation restent les facteurs principaux de la pollution agricole.

Il est à signaler également que les puits chargés en nitrates se trouvent le plus souvent près des habitations, une contamination des eaux souterraines par les eaux usées domestiques est fort probable.

Les cultures qui génèrent le plus de pertes de nitrates sont les cultures maraîchères et l'arachide (les doses d'N pour le fraisier ont été estimées très élevées au niveau du R'mel).

4.2- Principes de base d'une fertilisation raisonnée

4.2.1- Introduction

Le but essentiel de la fertilisation est d'ajuster le sol à un niveau nutritif suffisant pour alimenter la plante et de maintenir son potentiel nutritif en fonction des besoins des cultures .

Pour atteindre les objectifs précités, il est nécessaire d'ajuster l'apport des engrais sur la base :

- de la richesse de la solution du sol en éléments nutritifs qui assurent les besoins immédiats des cultures tout le long du cycle ;

- du niveau du rendement souhaité de la culture à installer.

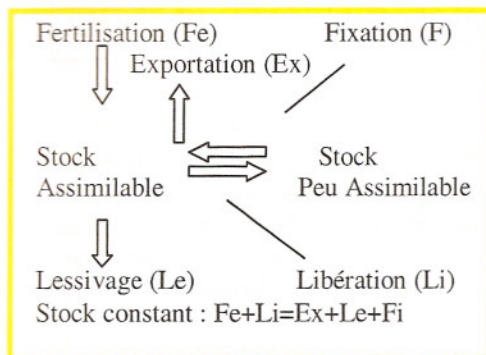
Par conséquent, l'analyse du sol, en tant que support de la végétation et milieu d'alimentation minérale et hydrique des cultures, est une phase essentielle qui permet l'appréciation de sa fertilité.

4.2.2- Raisonnement de la fertilisation

Le raisonnement de la fertilisation dépend de l'élément considéré. Les éléments qui ne sont pas ou peu mobiles dans le sol (P, K, S...) sont conduits d'une façon différente de celle des éléments mobiles (NO₃-).

i/- Eléments peu ou pas mobiles : cas du P2O5 et de K2O.

L'approche quantitative de la fertilisation fait appel à la notion du bilan qui renseigne sur le flux des éléments nutritifs :



Régime d'appauvrissement : Apport < Prélèvement : Nécessité d'apporter la fumure de redressement qui représente la quantité suffisante pour ramener le sol au niveau d'entretien.

Régime d'enrichissement : Apport > Prélèvement : Sol au niveau d'entretien ; apporter seulement la fumure d'entretien qui correspond aux exportations, aux divers blocages dans le sol (rétrogradation) et aux pertes (lessivage, précipitation..) et doit tenir compte de la minéralisation de la matière organique.

ii- Eléments mobiles : cas de l'azote

Dans le cas des nitrates, la fertilisation raisonnée ne peut être effectuée que dans les situations régionales ou l'on connaît assez bien l'évolution de la minéralisation azotée dans le sol en fonction des précédents culturaux, et la dynamique des nitrates en fonction du régime hydrique local.

iii- Connaissance des besoins des cultures pour un rendement donné

Les besoins sont les quantités d'éléments fertilisants absorbés par la culture au stade de maturité physiologique des plantes divisées par le rendement final. Ils dépendent du niveau de rendement, des variétés.

4.2.3- Recommandations

Il ressort de ce qui précède que :

* L'analyse du sol a une importance primordiale dans le raisonnement de la

fertilisation, par conséquent la sensibilisation des agriculteurs de la région sur cet aspect reste une tâche lourde parmi les activités de l'Office malgré l'effort déjà consenti dans ce domaine dans le cadre du Projet de Soutien au Développement Agricole (PSDA) ;

* Les normes régionales adaptées par type de sol et par type de culture sont également des éléments de base pour le raisonnement de la fertilisation. C'est une information qui s'obtient à partir des essais de fertilisation conduits au champs. En effet, il est temps de procéder à la détermination de ces seuils critiques (normes) pour constituer des références de la région du Loukkos au lieu de prendre les données d'autres régions pour recommander les plans de fumure sollicités par les agriculteurs dans le cadre des prestations de service rendues aux tiers par le Laboratoire.

4.3- Fertigation

4.3.1- Introduction

La fertigation, la ferti-irrigation ou l'irrigation fertilisante sont des termes qui définissent la technique par laquelle des éléments fertilisants sont apportés simultanément avec l'eau d'irrigation. Au même titre que les fertilisants, d'autres produits chimiques (pesticides et autres) peuvent être injectés dans l'eau d'irrigation. D'une manière générale, cette injection de produits chimiques dans le système d'irrigation est appelé <Chimigation>.

Au Maroc, la fertigation s'est développée d'une manière très rapide pour les cultures maraîchères pour englober plus de 80% des cultures de primeurs.

Dans la zone d'action de l'ORMVA du Loukkos, la fertigation associée à l'irrigation localisée existe depuis une dizaine d'années. Elle s'est développée très rapidement ces trois dernières années surtout pour la culture du Fraisier et secondairement pour les cultures maraîchères et les arbres fruitiers (Agrumes, avocat et pêcher) au niveau du Secteur R'mel. Il faut s'attendre à une extension rapide de

cette technique dans les années à venir suite aux résultats encourageants auxquels a abouti le projet TCP/MOR.

4.3.2- Installation du système de fertigation

Le réseau d'irrigation localisé est une installation fixe qui permet de distribuer l'engrais aux plantes grâce au matériel d'injection. Ainsi, l'apport d'engrais bénéficie de tous les avantages de l'irrigation localisée. Ce réseau doit être bien étudié et bien géré pour éviter des problèmes de colmatage des organes de distribution. Il se compose des organes suivants :

* **Moto-pompe** : pour assurer la fourniture d'une source d'eau en quantité suffisante et d'une pression répondant aux besoins du système ;

* **Station de Filtration** : pour maîtriser une bonne qualité d'eau et pour éviter le bouchage des organes de distribution. Il y a lieu de distinguer entre le matériel de pré-filtration (filtre hydrocyclone) en présence d'une eau à forte turbidité, et le matériel de filtration (filtres à sable, à tamis) ;

* **Matériels d'injection** : pour assurer l'injection des engrais dans l'eau d'irrigation ; on distingue des injecteurs simples types «Venturi» qui sont peu onéreux, nécessitant peu d'entretien et fonctionnent à l'énergie hydraulique et la pompe d'injection hydraulique «pompe doseuse Dosatran» qui fonctionne par la pression du courant d'eau ou bien par le courant électrique ;

* **Dilueur** : pour introduire les engrais sous forme soluble, c'est une «cuve»étanche montée en dérivation sur la conduite principale d'irrigation, à l'amont du filtre. Les agriculteurs tests ont utilisé le venturi et le dilueur

4.3.3- Problématique

En fertigation, à la fois l'irrigation et la fertilisation doivent être satisfaites dans les normes. Lorsque les règles de l'une ou de l'autre de ces techniques ne sont pas respectées, des anomalies apparaissent : élévation du taux de salinité ; surfertilisation ou sous

alimentation hydrique et minérale ; pertes par lessivage...etc.

Ces anomalies sont à l'origine de l'apparition de facteurs limitants à la production de bonne qualité. Par conséquent, il faut piloter l'irrigation correctement (utilisation de tensiomètres, bacs classe A, lysimètres, formules empiriques...etc). Il faut aussi raisonner la fertilisation en fonction de rendement recherché et selon la fertilité du sol. L'utilisation de la fertigation demande le respect de certaines conditions :

* Le réseau doit être conçu pour assurer une répartition homogène de l'eau ;

* L'injection d'engrais dans le réseau doit toujours être faite de l'amont du filtre à tamis ;

* Le matériel d'injection doit être fiable, bien choisi et utilisé, résistant à la corrosion;

* La canalisation principale doit comporter un clapet anti-retour pour éviter tout risque de pollution de la ressource en eau par les engrais.

L'enquête relative à l'utilisation de l'irrigation localisée dans le périmètre du Loukkos entreprise dans le cadre du projet TCP/MOR, a montré que :

* La conception des systèmes d'irrigation pour la plus part des agriculteurs est effectuée par les fournisseurs, ce qui risque de pénaliser la performance de ces installations ;

* Les dose et fréquence d'irrigation pratiquées sont également basées sur les conseils des fournisseurs au moment de l'acquisition du matériel et dans certains cas sur l'expérience personnelle de l'agriculteur ;

* Les formule et dose d'engrais utilisées sont le plus souvent recommandées par les fournisseurs en fonction des types d'engrais dont ils disposent sans faire recours aux analyses du sol et des eaux ;

Si le projet TCP/MOR a permis à certains agriculteurs l'initiation à la maîtrise des techniques de l'irrigation localisée (surtout gestion des installations de l'irrigation) par le biais des essais de démonstration, un effort considérable doit être déployé par l'Office pour l'encadrement de ces agriculteurs en matière de fertigation, en vue de réussir l'extension de cette technique dans sa zone d'action .

5- RECOMMANDATIONS

5.1- Recommandations issues de la mission d'expertise

La Direction et l'équipe pluridisciplinaire du projet a approuvé l'intérêt des différentes recommandations émises par le consultant et décide de les adopter .

- Sensibilisation des agriculteurs :

* Protection de l'environnement par la rationalisation des apports d'engrais ;

* Nécessité de procéder aux analyses du sol avant l'installation de chaque culture pour le raisonnement de la fertilisation ;

* Vulgarisation des techniques de fertigation.

- Formation :

Envoi de deux cadres à CHYPRE (Agricultural Research Institut) pour se familiariser avec les techniques de fertigation et leur application, ainsi que pour l'élaboration des fiches de fertilisation des principales cultures, et ce dans la mesure où le projet dispose de moyens pour cela. La Direction du projet avait proposé pour cette mission deux cadres (Auteurs de cette communication).

- Essais Techniques :

* Evaluation du temps d'injection des engrais pour les principales cultures (PT , Fraisier, Arachide)

+ Détermination du pH et CE de l'eau recueillie à la sortie de 16 goutteurs utilisés pour évaluer l'uniformité d'arrosage ;

+ Dosage de N P K.

Les moyens matériels nécessaires pour réaliser cet essai nécessitent en particulier l'acquisition d'un pH mètre portable (1.200 USD).

*Optimisation de la fertilisation azotée (P.T ; Fraisier)

+Adaptation du protocole de l'essai proposé au canevas d'irrigation des parcelles des cultures précitées ;

+Installation de l'essai à la station Sakh Sokh.

Les moyens matériels nécessaires comprennent : équipement des parcelles (2.000 USD), produits chimiques et parachimiques (6.000 USD), plants, semences et intrants (2.000 USD), suivi du profil hydrique (7.000 USD). Par ailleurs les moyens humains nécessaires incluent la formation de deux techniciens de laboratoire en analyse du végétal (1.500 USD), main d'œuvre occasionnelle (2.500 USD). Il est à signaler que les moyens matériels nécessaires pour la réalisation de ces essais techniques sont à prévoir dans le cadre du projet.

5.2- Détermination des normes de fertilisation (Essais de Normalisation)

Si l'analyse du sol a une importance primordiale dans le raisonnement de la fertilisation, les normes régionales adaptées par type de sol et par type de culture sont également des éléments de base pour le raisonnement de la fertilisation. Les quantités extraites par les méthodes d'analyse des sols sont calibrées par rapport à la réponse des plantes aux apports de l'élément considéré. Cette information est obtenue à partir des essais de fertilisation conduits au niveau régional sur une large gamme de sols. C'est la détermination des niveaux ou seuils critiques représentés par les quantités extraites au dessus de laquelle la réponse à un élément ne peut être obtenue.

Du fait que la région du Loukkos ne dispose pas pour le moment des références régionales en matière de fertilisation, le laboratoire d'analyse du sol et des eaux de l'Office fait recours aux données d'autres régions du Pays ou parfois aux données bibliographiques pour recommander les plans de fumure sollicités par les agriculteurs dans le cadre des prestations de service rendues aux tiers.

Or, il est temps de procéder à la détermination de ces seuils critiques (normes) par type de sol et par type de culture pour mieux raisonner la

fertilisation. Les actions à entreprendre dans ce volet s'articulent autour des :

* Essais de détermination des seuils critiques de réponse des principaux éléments nutritifs (N, P et K) pour les principales cultures pratiquées au niveau du secteur R'mel (PT, Fraisier, Arachide, CAS ...etc) à la SEMVA SAKH SOKH ;

* Essais de conduite de la fertigation chez certains agriculteurs en se basant sur le plan de fumure recommandé par le Laboratoire de l'Office, pour les cultures de Fraisier et la Pomme de Terre.

5.3- Vulgarisation des fiches techniques (Fraisier et Pomme de terre)

Dans le cadre du projet TCP un plan de fumure pour les cultures de fraisier et de pomme de terre a été élaboré en se basant sur l'analyse du sol de plusieurs parcelles d'agriculteurs du sous Secteur A; par conséquent, il est souhaitable de le généraliser pour l'ensemble du secteur R'mel.

REFERENCES

- ACHKAR M 1999 : Impact de l'intensification culturale sur l'Environnement, projet TCP/MOR/8822
Session de formation
- ACHKAR M 1999 : Notion sur le sol et mode de prélèvement des échantillons, projet TCP/MOR/8822
Session de formation
- BADRAOUI et al.1998 :Interprétation des résultats des analyses du sol et des eaux et conseils.
- BAIZE D 1990 : Référentiel Pédologie Français.
- BEKRAOUI A 1998 : Etude bibliographique du fraisier TCP/MOR/8822
- BERDAI H. 1996 : Evolution de la consommation des engrais au Maroc, synthèse des travaux réalisés au Maroc sur la pollution nitrique des eaux souterraines.
- BROUWER C., PRINS K. et HEIBLOEM M. 1989 : Pilotage des irrigations. Manuel de formation N 4.
- CID/NEDECO/ M.DEVELOPPEMENT 1998 : Etude d'évaluation environnementale du périmètre du Loukkos.
- CHOURAICHI M. 1999 : Interprétation des propriétés chimiques du sol , évaluation de la fertilité des sols et calcul de la fertilisation dans la pratique. Session de formation TCP/MOR/ 8822.
- CHOURAICHI M. 1999 : Interprétation des propriétés physiques et hydriques des sols , et calcul de la dose d'irrigation. Session de formation TCP/MOR/ 8822
- CHOURAICHI M. et ACHKAR M. 1999 : Caractérisation physico- chimique des parcelles de démonstration. TCP/MOR/ 8822.
- CHOURAICHI M. et ACHKAR M. 1999 : Propriétés physiques ,paramètres d'irrigation des sols du sous - secteur R'Mel du Loukkos.
- DUTIL P. 1981 : Azote ,Techniques Agricoles n°1230.
- EL ATTIR H 1999 : Conduite pratique de la fertigation
- MOUSTAOU D. 1997 Interprétation, Calibration et raisonnement de la fertilisation Maraîchage. Session de formation
- OJET J 1989 : Mémento de la fertilisation des cultures légumières.
- THOMANN. 1963 : Quelques Observations sur l'extra-ction de l'humus dans les sols ; Cahiers ORSTOM 3.
- XANTHOULIS D. 1999 :Rapport de la mission de consultation sur la fertigaion, projet TCP/MOR

RESEAU NATIONAL DE RECHERCHE DEVELOPPEMENT – CONSEIL

Pour une Agriculture Compétitive et durable

Service des Expérimentations, des Essais et de la Normalisation

SEEN

461, Avenue Hassan II, Akari, Rabat.

Tél : 00 212 37 69 84 31

Fax : 00 212 37 69 84 32

EFFET DE L'APPORT DU PHOSPHITE DE POTASSIUM PAR VOIE FOLIAIRE SUR LE DEVELOPPEMENT FLORAL ET FRUCTIFERE DU CLEMENTINIER

El-Otmani M., Ait-Oubahou A., Gousrire H. et Hamza Y.

RESUME

Chez les agrumes, le rendement est lié au nombre de fruits par arbre et au calibre des fruits qui constitue l'une des composantes de la qualité des fruits de clémentine. Le phosphore et le potassium jouent un rôle important dans le développement, la maturation et la qualité des fruits. Leur apport sur clémentinier par voie foliaire sous forme de phosphite de potassium (0,28,26) au début de la floraison n'a pas eu d'effet significatif ni sur le taux de débourrement ni sur l'intensité de la floraison mais augmente le taux de nouaison sans pour autant améliorer le rendement total ou le rendement en fruits exportables (diamètre > 51 mm). Le traitement appliqué en début de floraison puis en début de la chute physiologique ou bien durant la période de fin grossissement-maturation des fruits augmente le rendement total en Kg et en nombre de fruits par arbre. Le poids moyen par fruit n'a pas été affecté par ces traitements mais le rendement en fruits exportables a été augmenté. Ces traitements ont aussi induit une précocité de la maturation. La teneur des feuilles en P et en K est significativement augmentée par l'apport du PK pour toutes les dates d'apport.

INTRODUCTION

Les différentes phases du développement de la fleur jusqu'au fruit pour les agrumes cultivés en hémisphère nord ont été relativement bien élucidées (Lord et Eckard, 1987). C'est durant ces phases que les différentes composantes du rendement au sein de l'arbre peuvent être manipulées dans le but d'améliorer la productivité et de maximiser la rentabilité des vergers. Les phénomènes d'induction-initiation

florale ainsi que la floraison-nouaison, qui sont des phases où la demande en nutriments est élevée, ont lieu pendant les mois d'hiver-début printemps correspondant aux mois avec des températures du sol faibles, inférieures à 15°C (Hamid et al., 1988). Les températures réduisent l'activité des racines se traduisant par une diminution voire même un arrêt de l'absorption de certains éléments minéraux du sol. Le phosphore est un élément important dans le développement floral et fructifère chez les agrumes. Abdalla et al. (1986) ont montré que la teneur en P dans l'ovaire de la fleur est maximum juste avant la pleine floraison et subit une chute de 62% de cette teneur après transformation de la fleur en fruit. Bar Akiva et al. (1968) ont rapporté que lorsque P est apporté dans le but d'augmenter les rendements, la qualité des fruits est aussi améliorée.

Par ailleurs, dans leur revue bibliographique, Miller et Hofman (1988) rapportent que le potassium représente 44% de la composition minérale de la matière sèche des fruits de l'oranger 'Valencia' et que les apports par voie foliaire sous forme de KNO_3 (à 4%) deux à trois mois après floraison (donc à la chute physiologique) améliorent le calibre du fruit. Le rendement global n'est augmenté que si la teneur en cet élément dans les feuilles avant traitement est en deçà du niveau optimal requis. Le potassium affecte aussi la qualité des fruits et celle de la peau, en particulier.

Quoique les méthodes modernes de fertilisation comme la fertigation permettent l'optimisation des apports nutritionnels à l'arbre, des efforts sont entrepris pour mieux cibler et arriver à contrôler la nutrition des fleurs et des fruits. Par conséquent, l'utilisation de la fertilisation foliaire comme supplément à la nutrition par les racines prend de plus en plus d'importance dans les pays producteurs

d'agrumes pour optimiser les rendements et la qualité des fruits (Lavon et al., 1996).

En effet, la fertilisation foliaire est un moyen permettant d'apporter aux arbres les quantités d'éléments dont ils ont besoin et au moment où les déficits sont les plus élevés et où les racines ne permettent pas à elles seules de subvenir à ces besoins. Par ailleurs, l'utilisation du phosphite de K par voie foliaire s'avère intéressante pour atteindre cet objectif.

Dans le cadre du présent travail, nous rapportons les résultats d'application du phosphite de potassium à des stades phénologiques précis de l'arbre de clémentinier dans la région du Souss.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal et traitements utilisés

Ces essais ont été réalisés sur le clémentinier 'Nour' (*Citrus reticulata* Blanco) issu d'un surgreffage du clémentinier à peau fine réalisé en 1990, dans les Domaines Kabbage à Taroudant. Le porte-greffe est le bigradier (*C. aurantium* L.) et la plantation est faite selon un écartement de 5 m x 5 m. La fertilisation apportée par le producteur est constituée des apports N, P, K par fertigation à raison de, respectivement, 167, 90, 230 unités fertilisantes/an avec des apports de correction en micro-éléments. Les traitements effectués consistent en un apport du phosphite de potassium renfermant 0% N, 28% P_2O_5 et 26% K_2O à raison de 60 cc/hl avec en moyenne 10 l de bouillie par arbre. Cet apport a été effectué par voie foliaire à différents stades phénologiques (Tableau 1) durant deux campagnes (1997 et 1998).

Le phosphite de potassium utilisé est le Magnaphite® patenté par l'Université de Californie et fabriqué par la société Western Biagro, Californie, USA. Le Ret-Sul et Ret-Ca sont manufacturés par

Tableau 1. Caractéristiques des traitements effectués en 1997 et 1998

Traite- ment	Produit et concentration	Date d'application		Stade phénologique
		Année 1997	Année 1998	
T0	Témoin non traité	-	-	-
T1	Phosphite de K (60 cc/hl)	29 fév. 97	4 mars 98	1 ^{ers} boutons floraux
T2	Phosphite de K (60 cc/hl)	16 mai 97	4 mai 98	Chute physiologique
T3	Phosphite de K (60 cc/hl) + Phosphite de K (60 cc/hl)	29 fév. 97+ 16 mai 97	4 mars 98 + 4 mai 98	1 ^{ers} boutons floraux + chute physiologique
T4	Phosphite de K (60 cc/hl)+ RetSul (100 cc/hl)+Ret-Ca (250 cc/hl)	14 nov. 97	-	Changement de la couleur des fruits
T5	Phosphite de K (60 cc/hl)+ Phosphite de K (60 cc/hl) + Phosphite de K (60 cc/hl) + RetSul (100 cc/hl) + Ret-Ca (250 cc/hl)	- - -	4 mars 98 + 4 mai 98 + 4 sept. 98	1 ^{ers} boutons floraux + chute physiologique + avant virage de la couleur

la société EIBOL, Valence, Espagne et apportent de l'azote, du calcium et des microéléments (Gousrire, 1998).

Paramètres observés

Essai de l'année 1997

Le diamètre des fruits a été mesuré à deux reprises le 8 juillet et le 4 septembre 1997 au cours de la croissance des fruits. Dix fruits par arbre sont pris au hasard et à hauteur d'homme et leur diamètre équatorial est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse.

La récolte est faite d'une manière sélective une fois la couleur orange spécifique des fruits est atteinte. Deux passages ont été faits pour récolter tous les fruits des essais : le 24 décembre 1997 et le 5 janvier 1998. La production a été conservée pendant 45 jours à 4°C et 95% d'humidité relative. A la sortie de la chambre froide, la production a été conditionnée et le nombre et le poids des fruits par classe de calibre ont été déterminés.

Les classes des calibres utilisées correspondant à celles utilisées à l'échelle commerciale et données dans le tableau 2.

L'état nutritionnel des arbres a été évalué par l'analyse foliaire des éléments N, P, K et Ca selon les méthodes publiées par Chapman et Pratt (1978). En particulier, l'azote a été analysé par la méthode de Kjeldahl, le phosphore selon la méthode d'Olsen et le potassium et le calcium par spectrophotométrie. Les échantillons de feuilles (âgées de 5 à 7 mois) ont été prélevés sur des pousses de printemps non fructifères, le 4 septembre 1997. Chaque échantillon est composé de 20 feuilles, prélevées sur des unités de 2 arbres.

Les traitements ont été appliqués à l'aide d'un pulvérisateur à lance selon un dispositif expérimental complètement aléatoire avec 15 répétitions (un arbre = une répétition) pour les paramètres de la production (rendement, calibre et nombre de fruits) et 6 répétitions pour l'analyse foliaire.

Les données ont été soumises à une analyse de la variance et les moyennes ont été séparées en groupes homogènes en utilisant le test de Newman/Keuls à 5%.

Essai de l'année 1998

Durant la deuxième année d'expérimentation, en plus des

paramètres étudiés la première année, les observations ont porté sur l'évolution de la floraison, de la nouaison et du calibre des fruits. Pour ce faire, quatre rameaux issus de la vague de croissance d'été 1997 ont été repérés par arbre. Ces rameaux sont pris à hauteur d'homme au niveau de la strate extérieure de la frondaison, sur les quatre orientations de l'arbre. Ils ont été marqués et leur nombre de nœuds déterminé avant la floraison. Dès le débourrement, on a procédé à un comptage hebdomadaire des pousses végétatives, des inflorescences et du nombre de fleurs (fermées, ouvertes et nouées) par type d'inflorescence. A partir de ces données, les paramètres suivants ont été déterminés :

- Taux d'abondance des inflorescences = nombre total d'inflorescences exprimé en pourcentage par rapport au nombre total de nœuds portés par le rameau.

- Taux de débourrement = nombre de nœuds ayant débouffés rapporté au nombre de nœuds portés par le rameau puis par 100 nœuds.

- Taux de nouaison = nombre de fleurs nouées comptées le 1 avril 1998 rapporté au nombre de fleurs observées à la date du maximum de fleurs sur les rameaux (soit le 9 mars 1998).

Par ailleurs, le diamètre équatorial des fruits a été déterminé mensuellement à partir du 18 mai 1998 jusqu'à la récolte. Pour ceci, et à chaque date, dix fruits par arbre ont été pris au hasard à hauteur d'homme.

A la maturation des fruits, la récolte a été faite d'une manière sélective en fonction de la couleur de l'écorce en deux passages le 20 décembre 1998 et le 8 janvier 1999. Les fruits ont été calibrés pour chaque arbre séparément selon l'échelle des calibres donnée dans le tableau 2.

La teneur des feuilles en N, P, K et Ca a été évaluée comme indiqué précédemment. Les échantillons de feuilles ont été prélevés le 20 octobre 1998 sur des pousses de printemps non fructifères.

Toutes les données recueillies ont été soumises à une analyse de la variance suivant un dispositif complètement aléatoire avec six répétitions (1 répétition = 1 arbre) pour la floraison et

Tableau 2. Diamètres des fruits et classes correspondantes pour les fruits de clémentinier

	Classe de calibre						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Diamètre équatorial du fruit (mm)	>64]59-64]]55-59]]51-55]]47-51]]44-47]	≤44

le développement du fruit et quatre répétitions pour les paramètres de la production et l'analyse foliaire (1 répétition = 2 arbres). Le test de Newman/Keuls a été utilisé (à 5%) pour la séparation des moyennes.

RESULTATS ET DISCUSSION

Effet sur le taux de débourrement et sur le développement floral

L'apport du phosphite de potassium par pulvérisation foliaire (PK foliaire) à l'apparition des premiers boutons floraux (stade vert) n'a eu aucun effet significatif ni sur le taux de débourrement ni sur l'abondance des inflorescences (Tableau 3). Aucun effet du traitement n'a été non plus enregistré ni sur le type d'inflorescences (Goussire, 1998) ni sur l'abondance des fleurs (Tableau 4). Cependant, le taux de nouaison est supérieur chez les arbres traités au PK (Tableau 3) quoiqu'il n'apparaisse qu'une légère supériorité du nombre de fruits noués chez ces arbres là (Tableau 4).

Effet sur la croissance du fruit

Pour l'essai de 1997, le PK foliaire appliqué une seule fois au stade apparition des premiers boutons floraux verts (29 février) ou au stade de la chute physiologique (16 mai) ou aux deux stades sur les mêmes arbres améliore le diamètre des fruits en cours de grossissement (Tableau 5).

Tableau 5. Effet de la date d'apport du PK foliaire (en 1997) sur l'évolution du diamètre du fruit (mm) du clémentinier 'Nour' au cours du grossissement

Traitements	Date d'observation	
	8/7/1997	4/9/1997
Témoin	19,2b ^z	35,9b
Février 97	19,9ab	40,3a
Mai 97	20,0a	40,0a
Février + mai 97	22,0a	40,1a
Niveau de signification ^y	**	***

^z Au sein d'une même colonne, les valeurs suivies de lettres distinctes indiquent une différence significative d'après le test de Newman et Keuls au seuil de 5%

^y Différences significatives à 1% (**)
ou à 0,1% (***)

Tableau 3. Effet de l'apport du PK foliaire (en 1998) en début floraison sur le taux de débourrement et l'indice d'abondance des inflorescences chez le clémentinier 'Nour'. Essai de 1998.

Traitement	Taux de débourrement	Indice d'abondance des inflorescences	Taux de nouaison
Témoin non traité	53,6	58,0	20,3
PK mars 1998	46,8	47,0	31,7
Niveau de signification ^z	NS	NS	*

^z Différences non significatives (NS) ou significatives à 5% (*)

Tableau 4. Effet de l'application de PK foliaire (en 1998) en début de floraison sur l'évolution du nombre total de fleurs par 100 nœuds et sur le nombre de fruits noués par 100 nœuds chez le clémentinier 'Nour'.

Paramètre	Traitement	Date d'observation				
		9/3/98	16/3/98	23/3/98	1/4/98	30/4/98
Fleurs	PK en mars 98	84,1	64,5	30,1	-	-
	Témoin	139,3	99,4	23,5	-	-
Niveau de signification ^z		NS	NS	NS	-	-
Fruits noués	PK en mars 98	-	1,24	8,7	22,4	14,4
	Témoin	-	0,00	12,4	24,4	9,4
Niveau de signification ^z		-	NS	NS	NS	NS

^z Différences non significatives (NS)

des fruits noués enregistrée en juin et en juillet ainsi que la croissance journalière en diamètre des fruits restants n'est pas affecté par le traitement au PK foliaire quelque soit la date d'apport (Goussire, 1998). Cependant, la croissance moyenne journalière en juin et juillet est plus importante entraînant un diamètre moyen plus grand chez les arbres traités en mars (stade premiers boutons floraux) et en mars + mai (chute physiologique).

Effet sur la précocité de la maturation

Les quantités de fruits récoltés par date de récolte, indiquent que le

maximum de fruits sont récoltés à la première date pour tous les traitements sauf pour l'apport en mars 1998 (Tableaux 6 ; Goussire, 1998).

La récolte la plus importante en pourcentage de la production totale est celle des traitements apportés en novembre 1997 et en septembre 1998 qui coïncident avec la phase de fin grossissement-maturation des fruits indiquant que les traitements appliqués à cette période induisent une précocité de la maturation, du moins du point de vue couleur de l'écorce. Bien qu'il est difficile d'attribuer cet effet au P seul, les travaux de Bar Akiva et al. (1968) indiquent une amélioration de la qualité et donc une induction de la précocité de maturation par le phosphore.

Tableau 6. Effet de la date d'application de PK foliaire (en 1997) sur la production en Kg/arbre et en nombre de fruits par arbre et sur le poids moyen des fruits à la récolte chez le clémentinier 'Nour'.

Traitements	Date de récolte		Rendement total (Kg/arbre)	Nombre de fruits total par arbre	Poids moyen du fruit (g)
	24/12/97	5/1/98			
Témoin	18,2c ^x (64) ^x	10,1	28,3b	296b	96,6bc
Février 97	13,9c(58)	9,6	23,5b	244b	98,1b
Mai 97	11,9d(57)	9,1	21,0b	196c	107,6a
Février+mai 97	29,4ab(73)	10,1	40,3a	394a	103,1ab
Novembre 97	25,9bc(81)	5,9	31,8ab	340ab	93,9c
Niv. de signif. ^z	***	NS	***	*	**

^z Au sein d'une même colonne, les valeurs suivies de lettres distinctes indiquent une différence significative d'après le test de Newman et Keuls au seuil de 5%

^x Différences non significatives (NS) ou significatives à 5% (*), à 1% (**) ou à 0,1% (***)

^y En % du rendement total

Les traitements de février+mai (1997) ont donné le rendement le plus grand en Kg de fruits par arbre suivi du traitement de novembre comparé aux autres dates d'apports qui ne sont pas différentes du témoin non traité (Tableau 6). Cette amélioration est due essentiellement à une augmentation du nombre des fruits (Tableau 6).

Pour l'essai de 1998 c'est le traitement de septembre, suivi de celui de mars+mai qui ont donné le plus grand rendement en Kg/arbre (Goussrire, 1998). Cette augmentation est aussi due essentiellement à une amélioration significative du nombre de fruits récoltés.

Lovatt (1999) a rapporté une augmentation de 24 Kg/arbre chez la 'Washington' navel due à une augmentation significative du nombre et du calibre des fruits suite à une application de PK en mai et en juillet.

Albrigo (1999) rapporte des résultats similaires sur l'oranger 'Valencia' pour des applications en début floraison. Le fait que le nombre de fruits récoltés pour le traitement de mai est inférieur à celui des arbres non traités et ceci pour les 2 années d'essai mérite une attention particulière puisque Zucconi et al. (1978) indiquent que les fruits qui persistent sur l'arbre jusqu'à la récolte.

Le rendement export en Kg/arbre a suivi la même tendance que le rendement total avec le maximum tonnage export obtenu par les traitements de février+mai suivi de celui de novembre pour l'année 1997 (Tableau 7) et pour le traitement de septembre suivi de celui de mars+mai pour l'année 1998 (Goussrire, 1998). La part relative que représente le rendement export dans la production totale est de 81 à 88% pour les traitements de 1998 et 92 à 97% pour l'année 1997 sans qu'il y ait, toutefois, d'effet significatif des traitements au PK foliaire sur ce paramètre (Tableaux 7; Goussrire, 1998). Le fait que la proportion du tonnage export est plus élevée dans l'essai de 1997 est dû au fait que le rendement total était réduit (21 à 40 Kg/arbre) ce qui fait que l'arbre avait peu de fruits à nourrir et donc les fruits avaient un calibre plus

grand à la récolte. Contrairement, pour l'essai de 1998, le rendement était doublé (entre 44 et 79 Kg) rendant la compétition au sein de l'arbre pour les assimilats de la photosynthèse, l'eau et les éléments minéraux beaucoup plus grande et, par conséquent, le calibre des fruits plus réduit.

Effet sur la teneur des feuilles en N, P, K et Ca

Le tableau 8 montre que les teneurs en N des feuilles sont relativement basses, celles de P optimales, celles de K élevées et celles de Ca optimales comparativement aux normes utilisées à travers le monde (Embleton et al., 1996; du Plessis et Koen, 1996; Tucker et al., 1995; Gallasch, 1996; Lekchiri, 1996). Par ailleurs, les apports de PK de 1998 ont amélioré la teneur des feuilles en P et K quelle que soit la date de traitement mais n'ont pas affecté celle de N ou Ca (Tableau 8)

Tableau 7. Effet de la date d'application de PK foliaire en 1997 sur le rendement export en Kg/arbre et en pourcentage du rendement total chez le clémentinier 'Nour'.

Traitement	Kg/arbre	Proportion du total (%)
Témoin	27,0b ^z	96,0
Février 97	22,9b	95,3
Mai 97	20,3b	96,8
Février + mai 97	38,8a	96,5
Novembre 97	29,1b	92,0
Niveau de signification ^y	*	NS

Tableau 8. Effet de la date d'application du PK foliaire en 1998 sur la composition minérale des feuilles (en %) du clémentinier 'Nour' prélevées le 20 oct. 1998.

	Eléments			
	N	P	K	Ca
Témoin	1,98	0,10c ^z	2,31c	3,97
Mars 98	2,07	0,12b	2,53b	4,03
Mai 98	2,03	0,12b	2,53b	4,03
Mars+mai 98	2,05	0,14a	2,59a	4,04
Septembre 98	2,01	0,14a	2,54a	4,11
Niveau de signification ^y	NS	**	*	NS

^z Au sein d'une même colonne, les valeurs suivies de lettres distinctes indiquent une différence significative d'après le test de Newman et Keuls au seuil de 5%

^y Différences non significatives (NS) ou significatives à 5% (*)

alors que les apports faits en 1997 ont augmenté la teneur de P sans affecter celles de N, K ou Ca. L'augmentation de la teneur des feuilles en P et K serait due au fait que la réduction du pH de la bouillie par le traitement PK à 6,5 (pH de l'eau = 7,6) permettrait une meilleure absorption de ces deux éléments (Tableau 8).

CONCLUSION

Les applications du phosphite de potassium par pulvérisation foliaire sur le clémentinier 'Nour' en début floraison améliore la nouaison et par conséquent le nombre de fruits et le rendement par arbre. L'apport simple durant le stade fin grossissement-maturation, ou double en début floraison + début chute physiologique donne le rendement le plus élevé avec le nombre de fruits le plus grand et le rendement export le plus élevé. L'effet sur le calibre n'est pas régulier d'une année à l'autre mais celui-ci n'a jamais été inférieur au calibre des fruits des arbres non traités. Le PK foliaire stimule la précocité de maturation des fruits et améliore la teneur des feuilles en P et K indiquant une meilleure absorption de ces deux éléments par les feuilles. Cette augmentation est peut être due au pH de la bouillie de traitement (de l'ordre de 6,5 qui est le pH physiologique de la cellule végétale) qui a permis une meilleure pénétration des éléments dans les feuilles. L'utilisation de la fertilisation foliaire au phosphite de potassium est donc un moyen d'apporter aux arbres les éléments P et K à des stades de développement précis où les besoins sont élevés et où les racines à elles seules ne peuvent pas satisfaire les besoins des différents organes de l'arbre ou dans des conditions où le volume racinaire est atteint de maladies ou de nématodes ou sous l'influence de facteurs physiques (basses températures, pH trop élevé, etc.). Cette technique peut se substituer dans certains cas aux apports du sol ou comme complément pour réduire les grandes quantités apportées au sol. Ceci aura été utilisée comme conséquence une bonne maîtrise de la nutrition des arbres sans porter préjudice à l'environnement (sol et eaux souterraines, en particulier).

ETUDE PAR SPECTROMETRIE INFRAROUGE LOINTAIN DE L'ETAT DU POTASSIUM NON ECHANGEABLE DU SOL

R. BADREDDINE et R. PROST¹ - V. LAPERCHE² - R. LE DRED³

RESUME

L'évaluation de la fraction du potassium du sol disponible pour une culture (K^+ biodisponible) est essentielle pour une gestion rigoureuse de la fertilisation potassique. Il s'agit en effet de n'apporter que la masse d'engrais nécessaire à l'obtention du rendement souhaité. On dispose pour cela de méthodes d'extraction du K^+ dont le protocole a été établi de manière à ce que la masse extraite corresponde à ce que la plante prélève effectivement. Ces méthodes ne s'appliquent, en toute rigueur, que pour le type de sol et la culture pour lesquels elles ont été mises au point. Par ailleurs, une partie des ions K^+ apportés avec les engrais peut être immobilisée par les argiles (K^+ rétrogradé). C'est pourquoi, il est aussi nécessaire de mieux comprendre les mécanismes de rétention sélective des ions K^+ par les argiles pour prévoir la masse d'ions K^+ rétrogradée en fonction de la nature des minéraux argileux présents dans la terre.

Avec la spectrométrie infrarouge lointain (IRL), on dispose d'une technique permettant d'avoir un signal spécifique de la fraction des ions K^+ retenus. L'objectif de ce travail est de savoir si la fraction des ions K^+ du sol, qui est biodisponible, correspond à un état qui pourrait être caractérisé par son spectre IRL mais aussi de préciser la nature des mécanismes qui déterminent la rétention sélective des ions K^+ par les argiles du sol. On a pour cela entrepris :

1. L'étude de la spéciation par IRL et de la biodisponibilité du potassium dans des micas di- et trioctaédriques (muscovite, phlogopite et biotite). On montre en effet que la fréquence d'absorption du potassium, exprimée en cm^{-1} passe respectivement de la muscovite (dioctaédrique) à la phlogopite (trioctaédrique) et à la biotite (trioctaédrique riche en fer) de 108 à 91 et à 83 cm^{-1} . Parallèlement, des expériences de biodisponibilité effectuées dans de petits vases de végétation montrent que le potassium de la muscovite n'est pas disponible alors que celui de la phlogopite et de la biotite l'est.

2. L'étude de la spéciation des ions K^+ par IRL a été réalisée lors de l'échange d'ions $2K^+ \rightleftharpoons Ca^{2+}$ effectué sur une vermiculite obtenue à partir d'un interstratifié (phlogopite-vermiculite) de Palabora, République d'Afrique du Sud. Cet échange a été suivi d'une part en construisant les isothermes d'échange à 25, 60 et 90°C, d'autre part en étudiant les vermiculites biioniques obtenues par diffraction des rayons X et spectrométrie infrarouge lointain. L'échange montre qu'une partie des ions K^+ de la vermiculite-K est libérée pour des fractions ioniques des ions K^+ de la solution de contact supérieures à 0,3 et que la deuxième partie des ions K^+ qui est dans l'interstratifié (V_K-V_{Ca}) est libérée pour des fractions ioniques des ions K^+ inférieures à 0,3 et, enfin, que sa libération est d'autant plus retardée que la température d'échange est élevée. Ce type de

potassium est libéré dans le domaine où il y a apparition de la vermiculite-Ca. Les ions K^+ appartenant à la vermiculite-K donnent lieu à une bande d'absorption à environ 76 cm^{-1} et ceux appartenant à l'interstratifié une bande à 72 cm^{-1} .

INTRODUCTION

Des études faites en agronomie montrent que les plantes prélèvent plus d'ions K^+ que la fraction d'ions K^+ du sol qui est échangeable par les ions NH_4^+ (NH_4Cl 2N) mais moins que la quantité présente dans la terre. La question posée est de savoir quelle est la fraction d'ions K^+ non échangeable par les ions NH_4^+ qui est biodisponible afin de n'apporter que la masse d'engrais nécessaire à l'obtention du rendement souhaité. Des réponses pratiques ont été apportées (Quémener, 1988). Elles consistent à établir le protocole d'extraction des ions K^+ par le tétraphényl borate de sodium (Na^+ (C_6H_5) B^-) de manière à extraire de la terre une quantité d'ions K^+ équivalente à celle prélevée par la culture. La réponse n'est évidemment valable que pour le couple sol/plante considéré.

On sait par ailleurs qu'une partie des ions K^+ apportée sous forme d'engrais est fixée (K^+ rétrogradé) par l'argile du sol. C'est pourquoi il est indispensable, pour apporter la masse d'engrais nécessaire à l'obtention du rendement souhaité, de mieux comprendre les mécanismes de rétention sélective des ions K^+ par les argiles pour prévoir la quantité d'ions K^+ rétrogradée en fonction de la nature des minéraux argileux présents dans la terre.

¹ Unité de Science du sol, INRA, Route de Saint Cyr, 78026 Versailles Cedex, France

² CNRSSP, B.P. 537, 59505 Douai Cedex, France

³ Laboratoire des Matériaux Minéraux, ENSCM, 3, rue Alfred Werner, 68093 Mulhouse Cedex, France

L'état des connaissances concernant les deux questions posées n'a pas beaucoup progressé durant ces dernières décennies car il manque des informations sur la localisation et la nature des interactions des ions K^+ avec le réseau des argiles. Les recherches faites au laboratoire ont permis de montrer que la spectrométrie infrarouge lointain (IRL) donne de manière sélective le spectre du potassium contenu dans la terre qui n'est pas échangeable. Nous avons cherché à utiliser ce signal pour identifier et caractériser les différentes formes de potassium non échangeable. Pour identifier ces formes qui sont biodisponibles, on a caractérisé par spectrométrie IRL le potassium de différents micas broyés utilisés comme seule source de potassium dans des cultures faites dans de petits vases de végétation.

En apportant des données de niveau moléculaire sur la nature des interactions des ions K^+ avec le feuillet de l'argile, la spectrométrie IRL se révèle un outil adapté pour aborder l'étude des mécanismes de rétention sélective des ions K^+ par une argile. Dans ce cas, l'approche consiste à étudier le spectre IRL des ions K^+ de l'argile au cours de l'échange d'ions $Ca^{2+} \rightleftharpoons K^+$.

MATERIEL ET METHODES

Culture en pot par la méthode STANDFORD-DE-MENT. La

méthode de Standford-De Ment adaptée au cas de micas purs (muscovite < 20 μ m, phlogopite < 50 μ m, biotite < 50 μ m) a été utilisée pour extraire le potassium de micas par le ray-grass d'Italie (Lombaert, 1989). La partie aérienne de la plante est coupée régulièrement tous les 14 jours. Cet intervalle de temps peut être augmenté à 3 ou 4 semaines en fonction de l'état de la plante. Notons que les cultures de ray-grass sont conduites avec les trois micas comme seule source de potassium.

La quantité des ions K^+ prélevés par la plante est déterminée dans la partie aérienne après chaque coupe pour les trois essais (muscovite, phlogopite et biotite), de la première à la huitième coupe pour la muscovite, et de la

première à la treizième coupe pour la phlogopite et la biotite. Après la récolte, un pot de culture par essai est arrêté pour pouvoir récupérer le mica. Celui-ci est séparé du sable par décantation. Il est ensuite étudié par spectrométrie IRL.

Isotherme d'échange d'ions $2K^+ \rightleftharpoons Ca^{2+}$

Des vermiculites potassique et calcique, sont obtenues à partir d'un interstratifié (phlogopite-vermiculite) provenant des mines de Palabora, République d'Afrique du Sud. Ce minéral en paillettes de 1 à 4 mm² de surface est transformé en vermiculite-Na gonflée d'eau par traitement par une solution de chlorure de sodium contenant de l'eau oxygénée selon la méthode décrite par Le Dred et Wey (1978a). Les vermiculites-K et -Ca gonflées d'eau sont préparées à partir de la vermiculite-Na gonflée d'eau ainsi obtenue par échange de cations selon la réaction : $(zNa^+)_V + (M^{2+})_S \rightarrow (M^{2+})_V + (zNa^+)_S$ où V désigne la vermiculite et S la solution aqueuse.

Des échantillons d'environ 10 g de vermiculite-Na gonflée d'eau sont introduits dans des colonnes en verre Pyrex, placées dans un bain thermostatique, à la température de 25°C.

Les solutions salines, préalablement mises en équilibre de température, traversent les colonnes de bas en haut, avec un débit fixé à 20 cm³/heure. Les échanges de cations sont terminés lorsque les ions Na^+ ne sont plus détectés dans les solutions à la sortie des colonnes, ce qui nécessite de 15 à 25 jours selon la vermiculite monoionique préparée. Les colonnes sont alors alimentées pendant deux jours supplémentaires, puis les solutions influentes sont remplacées par de l'eau distillée. Le rinçage est terminé lorsque les ions Cl^- ne sont plus détectés dans les solutions effluentes, ce qui nécessite trois jours. Les colonnes sont encore alimentées en eau distillée pendant un jour. Les vermiculite- K^+ et - Ca^{2+} obtenues sont utilisées dans l'expérience d'échange de cations $2K^+ \rightleftharpoons Ca^{2+}$ aux températures de 25, 60 et 90°C (Baron et Saehr, 1983). L'échange de cations est réalisé dans des conditions d'équilibre chimique.

Spectrométrie Infrarouge Lointain.

Le spectromètre FTIR utilisé est un spectromètre Bruker IFS 113 V équipé d'un détecteur pyroélectrique DTGS (Triglycérine deutérate sulfate).

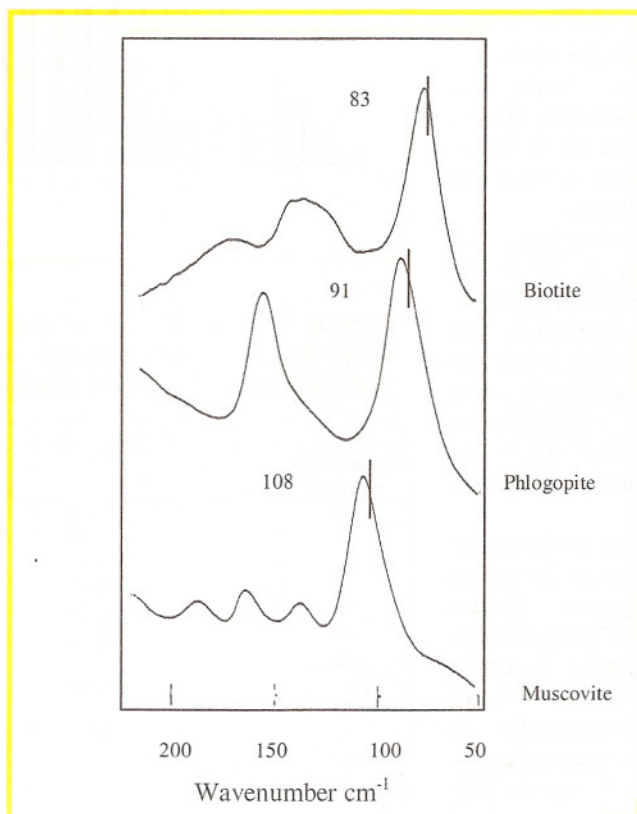


Figure 1 : Spectres infrarouge lointain de micas di- et tri-octaédriques.

Ce détecteur différentiel à réponse lente nécessite une vitesse de balayage du miroir mobile de 0,59 mm.s⁻¹.

Pour obtenir un bon rapport signal sur bruit, chaque spectre nécessite 200 enregistrements : 100 enregistrements pour la référence et 100 enregistrements pour l'échantillon étudié. La résolution est de 4 cm⁻¹. L'échantillon se présente sous la forme d'une pastille préparée en mélangeant 13 mg d'argile à 30 mg de polyéthylène.

RESULTATS

Biodisponibilité

Etat du potassium dans des minéraux di- et trioctaédriques. Le potassium des micas étudiés donne une bande d'absorption IRL dont la fréquence dépend de la nature du minéral analysé. La fréquence est de l'ordre de 108 cm⁻¹ pour la muscovite et respectivement de 91 cm⁻¹ et de 83 cm⁻¹ pour la phlogopite et la biotite (Fig. 1). La fréquence de la bande d'absorption du potassium est liée à son aptitude à être libéré. Prost et Laperche (1990) ont montré que le potassium des micas est d'autant plus difficile à extraire que la fréquence de sa bande d'absorption est plus grande.

Extraction du potassium de micas par le ray-grass. Pour tester la biodisponibilité du potassium de ces micas dont la fréquence de la bande d'absorption est différente, des cultures de ray-grass ont été réalisées.

L'évolution de cette expérience est suivie en déterminant la masse de potassium extrait après chaque coupe. Les résultats de l'extraction du potassium de ces différents micas par le ray-grass sont représentés sous forme d'histogramme exprimant le pourcentage cumulé en masse du potassium selon le nombre de coupes (Fig. 2).

L'extraction du potassium est beaucoup plus importante dans le cas des micas trioctaédriques (phlogopite, biotite) que dans celui du mica dioctaédrique (muscovite). Pour ce dernier, la culture est arrêtée après la 8^{ème} coupe. A la fin de la culture, le pourcentage de potassium extrait par le ray-grass est de 18% alors qu'il est de l'ordre de 39%

pour la phlogopite et de 42% pour la biotite. Au bout de la 13^{ème} coupe, ce pourcentage est de 62% pour la phlogopite et de 65 % pour la biotite. La capacité d'échange cationique déterminée pour les différents micas confirme ces résultats. En effet, la capacité d'échange de la muscovite est inférieure à celles de la phlogopite et de la biotite (tableau 1).

Modifications induites par le ray-grass. L'extraction du potassium par le ray-grass est suivie par spectrométrie IRL. L'intensité de la bande d'absorption du potassium de la muscovite montre peu de changement. En revanche, l'intensité de cette bande diminue en fonction du nombre de coupes pour la phlogopite et pour la biotite (Fig. 3). Pour la muscovite, l'extraction du potassium est limitée. Notons qu'aucun changement de fréquence lors de l'extraction du potassium n'est observé.

Cette évolution a été également suivie par diffraction des rayons X. Les spectres montrent dès la première coupe (deux semaines de contact mica- plante) un pic correspondant à une périodicité d₀₀₁ de 14,6 Å pour la phlogopite et de 14,9 Å pour la biotite (Laperche, 1991). Ces pics deviennent très intenses à partir de la 18^{ème} semaine de culture. Le pic relatif à la phlogopite est plus intense. Dans le cas de la muscovite, un pic de faible intensité correspondant à une périodicité de 15,0 Å de faible intensité est décelable à partir de la 4^{ème} semaine, son intensité augmente progressivement jusqu'à la 20^{ème} semaine.

Rétrogradation

Isothermes d'échange d'ions Ca²⁺ ↔ 2K⁺. Les isothermes d'échange ont été réalisées à 25, 60 et à 90°C.

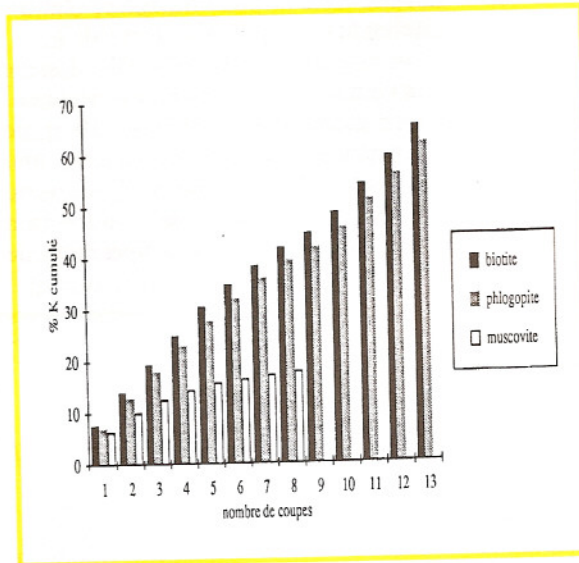


Figure 2 : Histogramme de la masse de potassium en pourcentage cumulé extrait de micas di- et trioctaédriques par le ray-grass.

Tableau 1 : Intensité intégrée et capacité d'échange des micas en fonction du temps de contrat mica-plante (Ii : intensité intégrée de la bande d'absorption du potassium exprimée en unité arbitraire)

Semaines de cultures	Muscovite		Phlogopite		Biotite	
	CEC Méq/100 g	Ii	CEC Méq/100 g	Ii	CEC Méq/100 g	Ii
0	11,80	13,61	10,00	21,20	7,00	16,84
2	15,80	11,39	22,50	17,98	15,80	15,31
4	18,00	11,12	29,60	16,84	29,50	14,05
6	22,1	12,23	31,70	16,36	36,10	11,82
8	21,40	11,28	54,60	13,98	47,40	10,25
10	12,60	10,72	58,20	13,44	49,10	8,82
12			56,50	12,39	55,40	7,78
13	17,80	10,40				
14			65,60	11,7	62,70	7,30
16	17,80	10,96	69,50	10,91	65,00	7,24
18			93,80	10,43	71,80	5,33
20	19,50	9,74				

Les résultats, reportés sur un diagramme carré, représentant la fraction ionique des ions K^+ fixés par la vermiculite en fonction de la fraction ionique des ions K^+ dans la solution, montrent une grande sélectivité de la vermiculite pour les ions K^+ (Fig. 4). En outre, ils montrent un double comportement des ions K^+ selon la valeur de leur fraction ionique dans la solution. Des ions K^+ correspondant à un premier type sont fixés pour une petite fraction ionique de ces cations dans la solution tandis que des ions K^+ d'un deuxième type sont fixés pour une fraction ionique plus grande. L'isotherme d'échange d'ions $2K^+ \rightleftharpoons Ca^{2+}$ montre que les ions K^+ du deuxième type sont plus difficilement échangeables que ceux du premier (Fig. 5) (Badreddine et al., soumis).

Diffraction des rayons X. L'échange d'ions $Ca^{2+} \rightleftharpoons K^+$ induit dans la vermiculite des changements d'ordre minéralogique. Il y a passage de la vermiculite-Ca ($d_{001} = 15 \text{ \AA}$) à l'interstratifié (V_{Ca-V_K}) ($d_{001} = 25 \text{ \AA}$) et à la vermiculite-K ($d_{001} = 10 \text{ \AA}$) (Fig. 6). Au cours de l'échange, ces différentes phases minéralogiques coexistent. Elles sont identiques à celles trouvées lors de l'altération supergène de la phlogopite en vermiculite à Palabora (Badreddine, 1998).

Evolution de l'échange d'ions $Ca^{2+} \rightleftharpoons K^+$ par spectrométrie IRL. Les spectres sont présentés en respectant les phases minéralogiques identifiées par diffraction des rayons X. La vermiculite-Ca ne donne pas de signal par contre l'échange de cations entraîne l'apparition de la bande d'absorption des ions K^+ vers les faibles fréquences à 72 cm^{-1} (Fig. 7). Cette bande est attribuée aux ions K^+ présents dans l'interstratifié (V_K-V_{Ca}). On note une augmentation de l'intensité de cette bande accompagnée d'un déplacement de fréquence. Ce déplacement atteint un maximum vers 76 cm^{-1} correspondant à la vermiculite-K. L'échange inverse (Fig. 8) confirme que la bande d'absorption des ions K^+ à basse fréquence (72 cm^{-1}) doit être attribuée à la phase interstratifiée ($V_{Ca}-V_K$) et la bande à plus haute fréquence (76 cm^{-1}) à celle de la vermiculite-K.

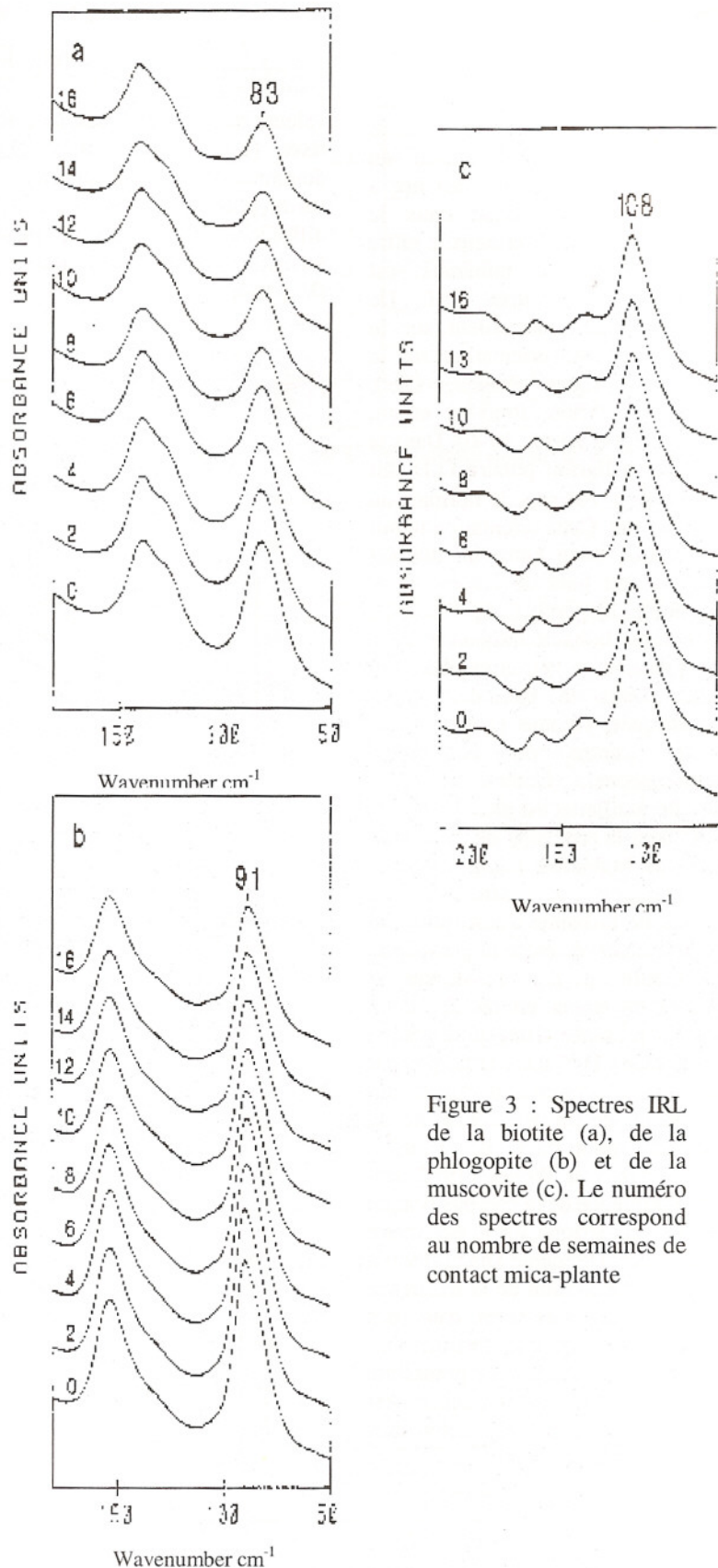


Figure 3 : Spectres IRL de la biotite (a), de la phlogopite (b) et de la muscovite (c). Le numéro des spectres correspond au nombre de semaines de contact mica-plante

DISCUSSIONS

Biodisponibilité

La biodisponibilité du potassium est plus grande pour les micas trioctaédriques que pour les micas dioctaédriques. Cette différence de comportement du potassium est liée à son état physico-chimique dans le minéral. La différence principale entre ces deux types de minéraux est l'orientation des groupes OH. De nombreux auteurs s'accordent sur le rôle joué par cette orientation sur la stabilité des micas (Basset, 1960; Besson et al., 1966; Rouxhet et al., 1966; Barshad et Kishk, 1970). Dans la muscovite, la liaison polaire O-H fait un angle de $\pm 16^\circ$ avec la normale au plan du feuillet. Cette orientation induit une attraction forte entre un doublet d'électrons non liant de l'atome O et une orbitale disponible de l'ion K^+ . Ceci explique la haute fréquence de sa bande d'absorption IRL et sa libération difficile. Dans le cas des micas trioctaédriques, l'atome H est orienté vers le centre de la cavité pseudo-hexagonale. L'atome O de la surface du feuillet et est plus proche de l'ion K^+ d'où la répulsion de ce dernier et donc sa libération moins difficile. Pour expliquer la différence de fréquence de la bande d'absorption du potassium observée entre la phlogopite et la biotite, il faut considérer la différence de teneur en fer des deux micas. La présence d'une plus grande quantité d'ions Fe^{2+} dans la biotite par rapport à la phlogopite se traduit par un déplacement de la fréquence de la bande d'absorption du K^+ de 91 cm^{-1} à 83 cm^{-1} . Hazen et Wones (1972) ont montré l'influence de la composition de la couche octaédrique sur le paramètre b de la maille. De même Diaz (1999) a montré une diminution de la fréquence d'absorption du potassium dans des phlogopites de synthèse lorsque leur teneur en Fe^{2+} augmente. Le potassium des micas dont la fréquence est inférieure à 91 cm^{-1} est, selon nos expériences, biodisponible.

Rétrogradation

Les isothermes d'échange d'ions $Ca^{2+} \leftrightarrow 2K^+$ de la vermiculite montrent une sélectivité de la vermiculite vis à vis

des ions Ca^{2+} pour une faible fraction ionique des ions K^+ dans la solution ($0,00 < K_S < 0,15$) ($K_S = \left(\frac{2K^+}{Ca^{2+} + 2K^+} \right)_s$). Au delà de cette valeur, environ 30% des ions K^+ sont fixés ($0,1 < K_S < 0,2$). Dans ce domaine, on note une sélectivité de la vermiculite pour les ions K^+ . La diffraction des rayons X montre la formation d'une phase interstratifiée ($V_{Ca}-V_K$).

La sélectivité observée de la vermiculite pour les ions K^+ est attribuée à la phase interstratifiée. Lorsque la fraction ionique des ions K^+ dans la solution augmente encore, la sélectivité de la vermiculite pour les ions K^+ diminue. Parallèlement, la diffraction des rayons X montre que cette diminution de la sélectivité coïncide avec l'apparition de la phase vermiculite-K.

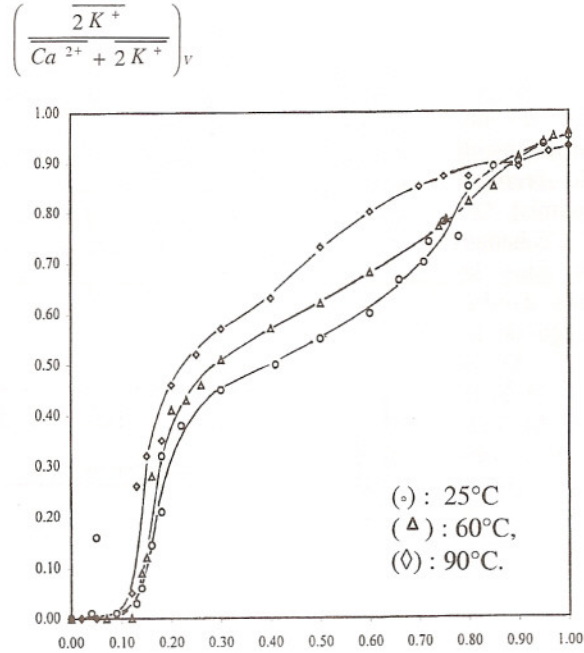


Figure 4 : Isothermes d'échange d'ions : $(2K^+)_v + (Ca^{2+})_s \leftrightarrow (2K^+)_s + (Ca^{2+})_v$ à 25, 60 et 90°C.

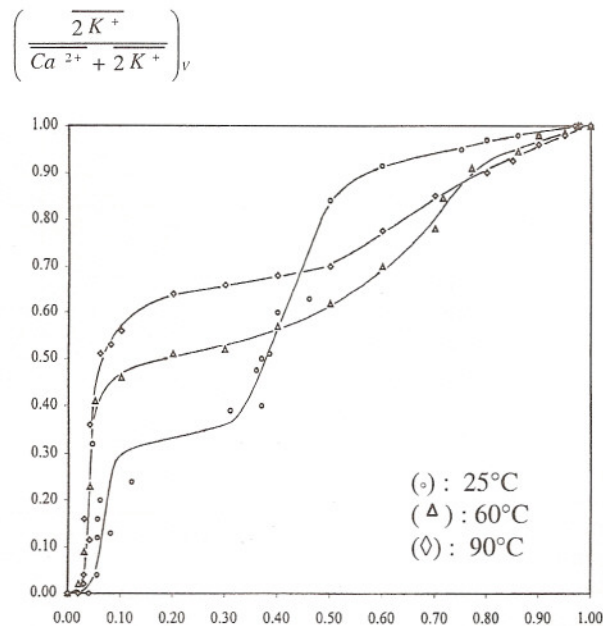


Figure 5 : Isothermes d'échange d'ions : $(2K^+)_v + (Ca^{2+})_s \leftrightarrow (2K^+)_s + (Ca^{2+})_v$ à 25, 60 et 90°C.

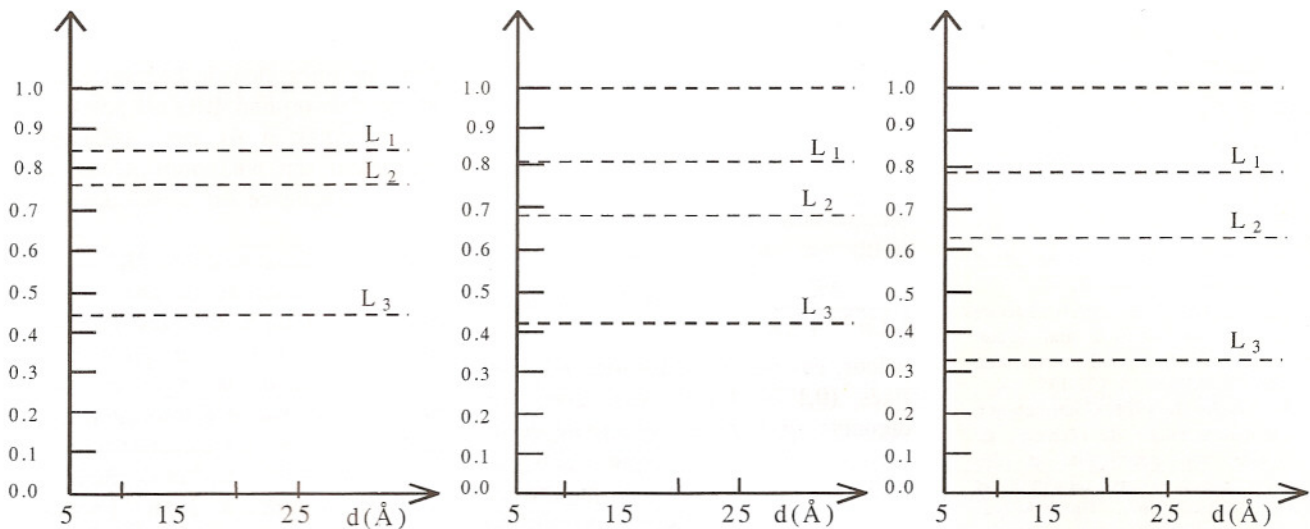


Figure 6 : Echange d'ions : $(Ca^{2+})_v + (2K^+)_{s \rightleftharpoons} (2K^+)_v + (Ca^{2+})_s$ à 25, 60 et 90°C Périodicité d_{001} de la vermiculite (Ca, K) selon la fraction ionique

$$\left(\frac{2K^+}{Ca^{2+} + 2K^+} \right)_v$$

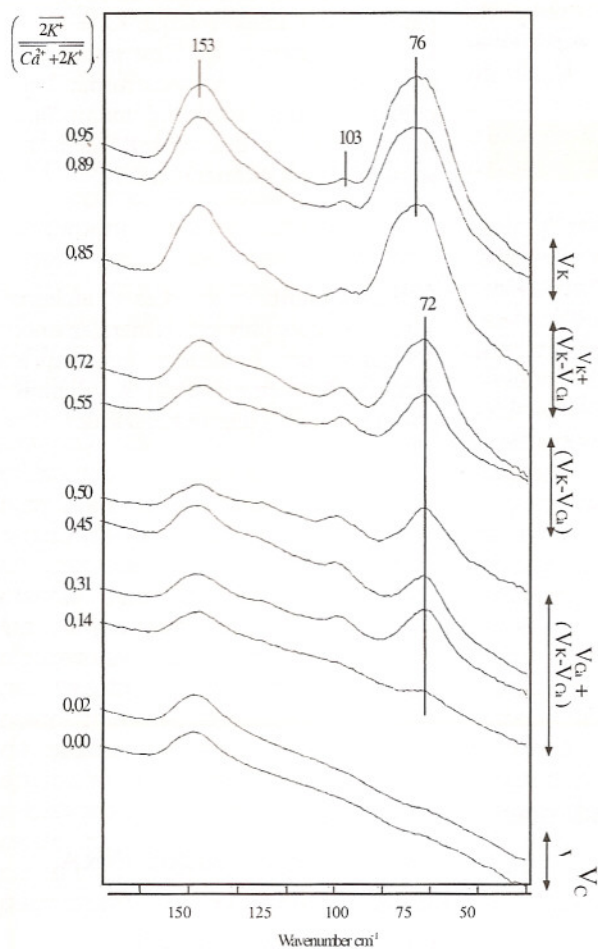


Figure 7 : Echange d'ions : $(Ca^{2+})_v + (2K^+)_{s \rightleftharpoons} (2K^+)_v + (Ca^{2+})_s$ à 25°C Spectres infrarouges lointain de la vermiculite (Ca, K) selon la fraction ionique

$$\left(\frac{2K^+}{Ca^{2+} + 2K^+} \right)_v$$

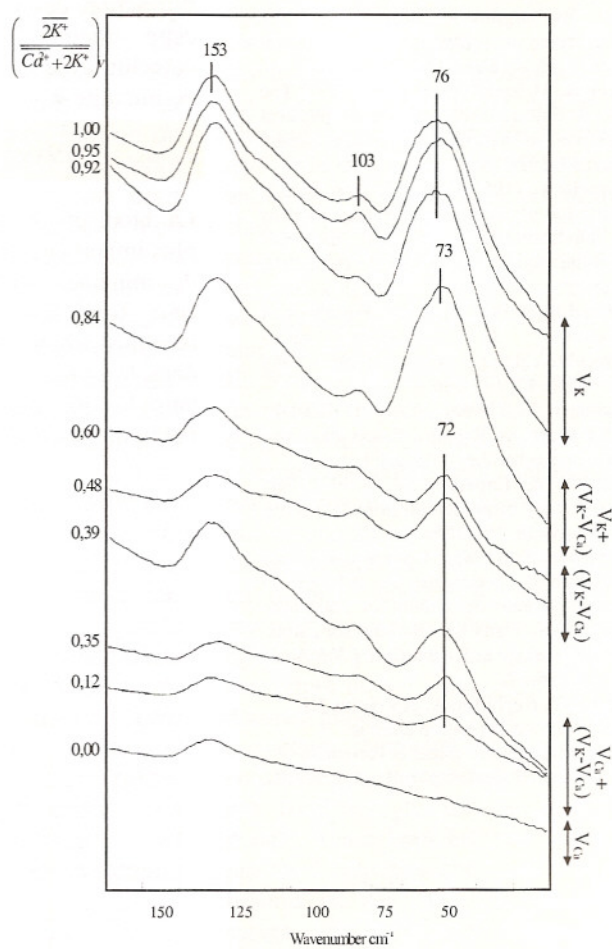


Figure 8 : Echange d'ions : $(2K^+)_v + (Ca^{2+})_s \rightleftharpoons (2K^+)_s + (Ca^{2+})_v$ à 25°C Spectres infrarouges lointain de la vermiculite (K, Ca) selon la fraction ionique

$$\left(\frac{2K^+}{Ca^{2+} + 2K^+} \right)_v$$

REFERENCES

- Badreddine R.** (1998) Caractérisation cristalochimique des vermiculites de Palabora, République d'Afrique du Sud, et des Béni Bousera, Maroc. Thèse, Univ. Liège, Belgique.
- Badreddine R., Le Dred R. et Prost R.** Far Infrared study of K^+ during $K^+ \rightleftharpoons Ca^{2+}$ exchange in vermiculite (soumis).
- Barshad I et Kishk F.M.**, (1970). Factors affecting potassium fixation and cation exchange capacities of soil vermiculite clays. *Clays Clay Miner.* 18, 127-137.
- Baron J. & Saehr D.** (1983) Contribution à l'étude thermodynamique de l'échange de cations entre une vermiculite et des solutions aqueuses d'ions minéraux et organiques. Thèse, Univ. Haute-Alsace, France.
- Basset W.A.**, (1960) Role of hydroxyl orientation in mica alteration. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 71, 449-455.
- Besson H., Caillère S. et Henin S.** (1966) Etude sur la transformation de quelques types de micas par voie expérimentale. *Bull. Gr. Fr. argiles*, XVII, 12, 57-69.
- Diaz Pinthier M.** (1999) Etude des interactions cations compensateurs/feuillettes dans les argiles: contribution à la connaissance des mécanismes de rétention sélective. Thèse, Univ. Orléans, France.
- Hazen R. M. and Wones D. R.** (1972) The effect of cation substitutions on the physical properties of trioctahedral micas. *Amer. Miner.* 57, 103-129.
- Laperche V.**, (1991). Etude de l'état et de la localisation des cations compensateurs dans les phyllosilicates par des méthodes spectrométriques. Thèse, Univ. Paris VII, France.
- Le Dred R. & Wey R.** (1978) Formation et applications de complexes mica-vermiculite-chlorure de sodium. *Clay Miner. Bull.* 13, 177-186.
- Lombaert V.** (1989) STANFORD-DEMENT K argiles. Rapport, Essais en serres, Centre de Recherches d'Aspach le bas.
- Prost R. & Laperche V.** (1990) Far-infrared study of potassium in micas. *Clays Clay Miner.* 38, 351-355.
- Quémener J.** (1988) Commentaires sur l'extraction du potassium des sols par le tétraphénylborate de sodium In Phosphore et Potassium. Dans les relations sol-plante: conséquences sur la fertilisation, *I.N.R.A., L. Gachon*, 109-32.
- Rouxhet P. Herbillon A. et Fripiat J.J.** (1966) Note sur la relation entre la vermiculitisation des micas et l'orientation des dipôles OH. *Bull. Gr. fr. Argiles*, XVIII, 3-9.

Rétrogradation

Les isothermes d'échange d'ions $Ca^{2+} \rightleftharpoons 2K^+$ de la vermiculite montrent une sélectivité de la vermiculite vis à vis des ions Ca^{2+} pour une faible fraction ionique des ions K^+ dans la solution ($0,00 < K_s < 0,15$) ($K_s = \left(\frac{2K^+}{Ca^{2+} + 2K^+} \right)_s$). Au delà de cette valeur, environ 30% des ions K^+ sont fixés ($0,1 < K_s < 0,2$). Dans ce domaine, on note une sélectivité de la vermiculite pour les ions K^+ . La diffraction des rayons X montre la formation d'une phase interstratifiée (V_{Ca-V_K}). La sélectivité observée de la vermiculite pour les ions K^+ est attribuée à la phase interstratifiée. Lorsque la fraction ionique des ions K^+ dans la solution augmente encore, la sélectivité de la vermiculite pour les ions K^+ diminue. Parallèlement, la diffraction des rayons X montre que cette diminution de la sélectivité coïncide avec l'apparition de la phase vermiculite-K.

CONCLUSION

La biodisponibilité du potassium est plus importante dans les sols contenant des minéraux trioctaédriques que dans ceux à minéraux dioctaédriques. Les résultats acquis permettent de définir, dans le cas des ions K^+ , une "limite" entre le potassium non assimilable et le potassium assimilable par le ray-grass.

Ainsi un mica, dont la fréquence de la bande d'absorption IRL du potassium est inférieure à 91 cm^{-1} , cède plus facilement son potassium qu'un autre dont la fréquence est supérieure à 91 cm^{-1} .

L'étude de l'échange d'ions $2K^+ \rightleftharpoons Ca^{2+}$ entre la vermiculite et une solution montre deux types de sites d'échange pour les ions K^+ . Le premier est caractéristique de la vermiculite-K et donne à une bande d'absorption à 76 cm^{-1} . Le second est caractéristique de l'interstratifié (V_{Ca-V_K}) et donne à une bande d'absorption à 72 cm^{-1} . La phase interstratifiée présente une plus grande sélectivité pour les ions K^+ que la phase vermiculite. L'inversion de sélectivité observée pour une petite valeur de la fraction ionique des ions K^+ présents dans la solution montre que le processus de rétrogradation peut se produire avec une argile de ce type à partir de la fraction ionique $K_s = 0,12$. Ce résultat montre qu'il est préférable d'apporter les ions K^+ sous forme d'un engrais dont la solubilité induit une fraction ionique des ions K^+ dans la solution du sol inférieure à 0,12.

Remerciements : Les auteurs adressent leurs plus vifs remerciements à Veronique Lombaert ainsi qu'à Jacques Quémener et Patrick Villemain pour l'aide qu'ils leur ont apportée.

Correspondance: R. PROST
Unité de Science du sol, INRA,
Route de Saint Cyr,
78026 Versailles, France
Tél. +33-1-30-83-32-50
Fax +33-1-30-83-32-59

STRATEGIES D'AMELIORATION DE L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'AZOTE CHEZ LES CEREALES AU MAROC

Mohammed Karrou¹

RESUME

La fertilisation azotée des céréales est l'une des pratiques culturales les plus délicates dans les zones caractérisées par un aléa climatique important. Cette difficulté est due au fait que l'azote est un élément très mobile et subit des transformations très rapides en fonction du changement de l'humidité et de la température du sol. En zones irriguées ou en années pluvieuses, l'azote apporté en quantités élevées au début du cycle pourrait être perdu par lessivage. D'autres apports sont donc nécessaires pour compenser ces pertes et éviter que les rendements soient affectés. En zones bour, en cas d'années sèches, l'azote apporté risque de ne pas être absorbé par les plantes. En cas d'un début du cycle de la culture pluvieux suivi d'une longue période sans pluies, l'apport précoce de N favorise une production excessive de la biomasse et un épuisement plus rapide de l'humidité du sol et donc la sénescence prématurée des plantes. Dans l'objectif d'augmenter les rendements des céréales et d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote, il est indispensable d'appliquer une approche intégrée de gestion de cet élément. Cette approche doit être basée sur un raisonnement agronomique judicieux de la fertilisation azotée et sur le choix d'un matériel génétique performant.

Le raisonnement des apports de l'engrais azoté doit tenir compte, entre autres, de la richesse du sol en cet élément, des conditions climatiques et des stades critiques de croissance. La méthode de 'calibration' des analyses du sol peut aider dans le raisonnement des apports précoces d'azote (au semis/début tallage). Pour pouvoir cibler les stades ou périodes critiques d'apport, celle-ci doit être améliorée par l'utilisation de modèles de prévision des conditions pluviométriques et d'indices liés à la minéralisation de l'azote. Les apports du début montaison (en irrigué et en bour favorable) seraient également bien raisonnés en se basant sur la teneur d'azote dans le végétal. Le raisonnement de la dose d'azote à apporter doit aussi tenir compte des besoins de la variété utilisée. Pour améliorer le rendements des céréales à moindre coût et éviter le gaspillage d'azote et la contamination des eaux souterraines par les nitrates, il est nécessaire de développer des variétés ayant une meilleure efficacité d'utilisation de l'azote. Pour cela, les traits morphologiques et physiologiques impliqués dans l'amélioration de cette efficacité doivent être identifiés et utilisés dans les programmes d'amélioration génétique. Dans ce manuscrit, les approches agronomique et génétique mentionnées ci-dessus sont discutées.

INTRODUCTION

L'azote est un élément indispensable pour la croissance et le développement des plantes. Il entre dans la constitution de la chlorophylle et des protéines et stimule le tallage chez les céréales. Cependant, l'azote est un élément qui subit des transformations très liées aux variations de la température et de l'humidité du sol. Pour cela, il peut être perdu par volatilisation ou devenir non disponible pour les plantes s'il subit des transformations telles que la dénitrification et l'immobilisation.

En zones irriguées ou en années très pluvieuses, l'azote peut être lessivé au delà de la rhizosphère; ce qui peut donc entraîner des carences en cet élément chez les plantes cultivées. Le lessivage peut aussi provoquer la contamination des eaux souterraines par des nitrates qui sont dangereux pour la santé humaine et animale.

En zones bour défavorables, le problème de l'azote se pose autrement. L'apport d'azote au début du cycle des céréales en quantités abondantes peut coïncider avec des pluies suffisantes pouvant provoquer une croissance rapide des plantes et un couvert végétal très dense. Ceci peut être un avantage comme il peut être un inconvénient selon que la campagne agricole est pluvieuse ou sèche après la couverture du sol par la végétation. Si d'autres pluies surviennent après cette couverture, l'humidité du sol peut être conservée car l'évaporation est réduite par l'ombrage du sol causé par les plantes. Cette humidité peut aider les plantes à satisfaire une partie de leurs besoins en eau au cours des stades suivants. Si les premières pluies sont

¹ Chef du Département d'Agronomie, INRA, CRRA, B. P. 589, Settat, Maroc.

suivies par une sécheresse de longue durée, un couvert végétal dense peut provoquer un épuisement rapide de l'humidité du sol et par conséquent une sénescence prématurée des feuilles et des tiges et une chute des rendements grains. En zones à faibles pluviométries, le manque ou absence de pluies ne permettent pas l'absorption de l'azote.

APPROCHES D'AMELIORATION DE L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'AZOTE

L'efficacité d'utilisation de l'azote est définie, par les agronomes, comme étant le rapport entre la quantité de matière sèche produite (rendement grains dans le cas des céréales) et la quantité d'azote disponible dans le sol. L'efficacité d'utilisation de l'azote peut être décomposée en deux paramètres à savoir, l'efficacité d'absorption (uptake efficiency) et l'efficacité d'utilisation de la portion d'azote déjà absorbée (utilization efficiency). Cette dernière composante est la plus étudiée par les agronomes.

L'efficacité d'utilisation de l'azote peut être améliorée par les techniques de fertilisation (approche agronomique) et par l'amélioration génétique (approche génétique).

Approche agronomique

Pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote chez les céréales il faut, tout d'abord, éviter son gaspillage. Du fait que les agriculteurs essaient toujours de limiter le nombre d'opérations (simplifier l'itinéraire technique) et de minimiser les coûts, ils ont tendance à éviter les fractionnements d'azote et à apporter cet élément fertilisant en une seule fois et souvent au début du cycle de la céréale. Cependant, cette technique occasionne des pertes de quantités non négligeables d'azote par lessivage en zones irriguées et en années très pluvieuses. Pour compenser ces pertes, des doses élevées d'azote sont appliquées par certains fermiers; ce qui accentue donc le problème de la pollution des eaux souterraines par les nitrates. En zones à faible pluviométrie, l'apport de fortes doses d'azote au début du cycle des céréales risquerait d'accélérer et d'accentuer le déficit hydrique. En bour

comme en irrigué, les fortes doses d'azote réduisent l'efficacité d'utilisation de l'azote.

Pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote ainsi que les rendements des céréales par des apports de doses d'azote relativement plus faibles, il est nécessaire de mettre à la disposition de la plante, aux moments opportuns, des quantités lui permettant la satisfaction de ses besoins uniquement. Pour éviter les pertes, ces apports doivent tenir compte de la richesse du sol en azote, de la quantité minéralisable de N au cours de la campagne agricole, de l'humidité du sol, du stade de développement et des potentialités de la variété. Par conséquent, pour mieux gérer la fertilisation azotée, des méthodes et indices de raisonnement de cette opération doivent être trouvés pour différentes conditions pédo-climatiques et différents précédents culturaux en tenant compte des paramètres mentionnés ci-dessus.

Soltanpour et al. (1989) en utilisant la méthode de calibration des analyses du sol ont développé, pour les zones semi-arides du Maroc, un modèle de prévision des doses d'azote pour la culture de blé. Cependant, ce modèle tient compte uniquement de la concentration des nitrates dans le sol avant le semis et d'un rendement grain objectif de 20 qx/ha. Malgré que des indices de minéralisation potentiels ont été déterminés pour les sols de certaines régions (El Gharous et al., 1990), ceux-ci restent encore non utilisés dans le modèle cité ci-dessus. Une autre limite du modèle est qu'il ne prend pas en considération l'humidité du sol et le régime pluviométrique.

La méthode de calibration basée sur les nitrates au début du cycle a été également testée en zones irriguées; mais reste peu fiable sous ces conditions (Lamsellak, 1992, ORMVD, 1999).

L'utilisation de la teneur en matière organique comme indice de prédiction des apports d'azote a été évaluée par Benihya (1993). Cependant, les résultats obtenus sont partiels. L'investigation, dans ce domaine, mérite d'être reconduite pour confirmer la validité de ce paramètre.

Chez les céréales, deux périodes de croissance sont critiques quant à la satisfaction des besoins en azote de la culture à savoir le tallage et la

REFERENCES

- Alagarswamy, G. and N. Seetharma. 1983. Biomass and harvest index as indicators of nitrogen uptake and translocation to the grain in sorghum genotypes. p. 423-427. In M. R. Saric and B. C. Loughman (ed). Genetic aspects of plant nutrition. Martinus Nijhoff publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Alagarswamy, G. and F. R. Bidinger. 1987. Genotypic variation in biomass production and nitrogen use efficiency in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeks.). p. 281-286. In H. W. Gabelman and B. C. Loughman (ed). Genetic aspects of plant mineral nutrition. Martinus Nijhoff publishers. Dordrecht/Boston/Lancaster.
- Benihya, B. 1993. Essais multiloaux pour l'établissement des références régionales de la fertilisation azotée en irrigué (cas du blé dur dans les Doukkala). Mémoire de 3ème cycle. Option Agronomie. IAVHII, Rabat Maroc.
- Brown, R. H. 1978. A difference in N use efficiency in C3 and C4 plants and its implications in adaptation and evolution. *Crop Sci.* 18:93-98.
- El Gharous, M., R. L. Westerman and P. N. Soltanpour. 1990. Nitrogen mineralization potential of arid and semi-arid soils of Morocco. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:438-443.

montaison. La disponibilité en azote dans le sol au cours du tallage est très importante pour la réalisation d'un couvert végétal adéquat et un peuplement-talles optimum pour une zone pédo-climatique donnée. Les apports d'azote précoces doivent tenir compte des études fréquentielles de la pluie et de la possibilité d'irrigation. L'étude du climat et le nombre de talles obtenus au début de la montaison sont des facteurs à prendre en considération pour mieux raisonner les doses d'azote à apporter à ce stade en vue de satisfaire les besoins ultérieurs des plantes et enfin réaliser un nombre de grains optimum et un poids du grain satisfaisant. En plus du climat et de la biomasse, les analyses de l'azote dans le végétal au début de la montaison constituent un indice pouvant aider à mieux cibler la dose d'azote à apporter en couverture à ce stade. La disponibilité en azote en quantités suffisantes à la montaison est, non seulement indispensable pour augmenter le rendement, mais aussi pour améliorer la qualité protéinique des grains à la récolte.

Il est à noter qu'au delà de la montaison, les apports d'azote ne sont pas justifiés. Plusieurs auteurs ont montré que les quantités d'azote absorbées au cours du remplissage du grain sont minimales et n'améliorent pas le rendement grain. Mais des différences génotypiques de réponses à l'apport de N existent. Au Maroc, surtout en bour caractérisé par la sécheresse et les hautes températures de fin de cycles, il semble que les plantes satisfassent leurs besoins au cours de la formation du grain en épuisant dans les réserves en N stockés dans les tiges (remobilisation et translocation).

Approche génétique

Justification de l'approche

Au cours de cette dernière décennie, la contribution de l'amélioration génétique dans l'augmentation des rendements en grains des céréales était substantielle. Cette amélioration de la production était liée à la création de variétés naines ou semi-naines à hauts potentiels de rendements. Ces variétés nécessitent des apports considérables d'intrants. Vu ce progrès génétique, et l'augmentation des besoins de ces cultures en éléments

fertilisants, les taux d'utilisation des engrais chimiques et surtout azotés ont connu une augmentation considérable. Une conséquence directe de cette augmentation serait la pollution des eaux souterraines par les nitrates en zones très arrosées ainsi que l'augmentation des coûts de la pratique de la fertilisation. En zones défavorables (manque d'eau), les agriculteurs apportent peu ou pas d'azote à cause de l'aléa climatique. Pour remédier à ces problèmes, la sélection de variétés ayant une meilleure efficacité d'utilisation de l'azote paraît prometteuse (Moll et al., 1982; Moll et al., 1987; Van Sanford et Mackown, 1986). Cette sélection permettrait de réduire les doses d'apport d'azote sans toutefois affecter les rendements. Des différences interspécifiques et intraspécifiques d'efficacités d'utilisation de N ont été observées. Brown (1978) a montré que les plantes à C4 utilisent mieux l'azote que les plantes à C3. Mihaljev et Kastori (1983) ont montré, chez le blé, que la quantité d'éléments fertilisants absorbée est un critère héréditaire contrôlé par des gènes additifs. L'action de gènes additifs est d'un intérêt spécial dans l'amélioration du blé. Ceci est dû au fait que ces gènes peuvent être introduits dans les dernières générations de la sélection d'un matériel génétique donné.

Importance des composantes de l'EUA

Comme il a été dit auparavant, l'efficacité d'utilisation de l'azote est un indice qui peut être décomposé en deux paramètres. La contribution de ces paramètres dans cette efficacité n'est pas nécessairement la même pour les différentes espèces et génotypes et dépend de la concentration de l'azote dans le sol. En effet, Pollmer et al. (1979) ont montré, chez le maïs, l'importance de l'efficacité d'utilisation de l'azote. Dans le cas du blé (Van Sanford et Mackown, 1986; May et al., 1991), l'efficacité d'absorption s'avère la plus déterminante.

Moll et al. (1982) ont trouvé que sous des conditions de faibles concentrations d'azote dans le sol, les différences d'efficacité d'utilisation de N entre les hybrides de maïs étaient dues largement à la variation de l'efficacité de son utilisation. Pour des sols riches en cet

REFERENCES

- Karrou, M. 1992. Physiological and morphological traits associated with nitrogen uptake and use in Moroccan wheats at different moisture regimes. PhD Dissertation, University of Nebraska Lincoln, Lincoln U.S.A.
- Karrou, M. 1996. Variation génotypique de l'efficacité d'utilisation de l'azote chez le blé tendre. *Al Awamia* 95:39-51.
- Lamsellak, M. 1992. Contribution à l'étude des méthodes de raisonnement de la fertilisation azotée du blé en irrigué (cas de Tadla). Mémoire de 3ème cycle. Option Agronomie. IAVHII, Rabat Maroc.
- May, L., D. A. Van Sanford, C. T. Mackown and P. L. Cornelius. 1991. Genetic variation for nitrogen use in soft red x hard red winter wheat populations. *Crop Sci.* 31:626-630.
- Mihaljev, I. and R. Kastori. 1983. Genotypic variation and inheritance of mineral element content in winter wheat. p. 477-481. In M. R. Saric and B. C. Loughman (ed). *Genetic aspects of plant nutrition*. Martinus Nijhoff publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Moll, R. H., E. J. Kamprath and W. A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy J.* 74:562-564.

REFERENCES

- Moll, R. H., E. J. Kamprath and W. A. Jackson. 1987. Development of nitrogen efficient prolific hybrids of maize. *Crop Sci.* 27:181-186. ORMVAD, 1999. Détermination des normes d'interprétation des analyses de sol pour les cultures du blé et de la betterave sucrière sur les principaux types de sol du périmètre irrigué des Doukkala. Rapport final. Travail conduit dans le cadre du Projet PSDA et réalisé conjointement par l'IAVHII et l'INRA (Marché par entente directe No. 42/95/DK/DDA).
- Perby, H. and P. Jensen. 1987. Vegetative adaptation to N stress regimes in two barley cultivars with different N requirements. p. 361-367. In H. W. Gabelman and B. C. Loughman (ed). *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Martinus Nijhoff publishers. Dordrecht/Boston/Lancaster.
- Pollmer, W. G., D. Eberhard, D. Klein and B. S. Dhillon. 1979. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize. *Crop Sci.* 19:82-86.
- Soltanpour, P. N., M. El Gharous, A. Azzaoui and M. Abdelmonem. 1989. A soil test based N recommendation model for dryland wheat. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 20:1053-1068.
- Van Sanford, D. A. and C. T. Mackown. 1986. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes. *Theor. Appl. Genet.* 72:158-163.

élément, ces différences étaient dues plutôt à la variation dans l'efficacité d'absorption. Cependant d'après Moll et al. (1987), l'efficacité d'utilisation de l'azote, toutes doses confondues, est le critère le plus fiable pour la sélection de variétés à efficacités d'utilisation de N élevées. Au Maroc, Karrou (1996) a montré, chez le blé tendre, que l'efficacité d'utilisation contribue plus à l'efficacité d'utilisation de l'azote que l'efficacité d'absorption.

Critères de sélection pour l'efficacité d'utilisation de l'azote

La détermination de l'efficacité d'utilisation de l'azote et de ses composantes nécessite des dosages de l'azote dans le sol et dans le végétal. Cette procédure demande beaucoup d'investissements et une main-d'œuvre qualifiée. En effet, le nombre d'échantillons (matériel génétique) à traiter est souvent très élevé en amélioration génétique. Pour remédier à cette contrainte, plusieurs chercheurs s'intéressent actuellement à la détermination de critères plus simples de sélection pour l'efficacité d'utilisation de N. Alagarwamy et Seetharama (1983) ont conclu que la sélection pour la biomasse et l'indice de récolte inclue la sélection pour l'efficacité d'utilisation de l'azote chez le sorgho. De même Alagarwamy et Bidinger (1987) ont confirmé l'importance de la biomasse dans le cas du petit mil. Perby et Jensen ont aussi montré le rôle du tallage dans l'efficacité d'utilisation de l'azote. Au Maroc Karrou (1992), a trouvé, chez le blé tendre, que les mesures de la biomasse et de l'indice de récolte sont suffisantes pour avoir une idée sur le rendement grains, et l'efficacité d'utilisation de l'azote.

Acquis de recherche sur l'amélioration génétique de l'efficacité d'utilisation de l'azote au Maroc

Vue la problématique de la fertilisation azotée des céréales au Maroc décrite ci-dessus et le rôle que peut jouer, dans l'avenir, la génétique dans l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote et l'augmentation et la stabilisation des rendements des céréales à moindre coûts (coûts financier et environnemental), des

recherches ont été initiées sur blé tendre en zones semi-arides et irriguées dans le but de choisir des parents pour d'éventuels croisements et sélection de matériels génétiques à efficacités d'utilisation de l'azote plus élevées.

Les résultats obtenus en zones semi-arides de la Chaouia montrent une large variabilité génotypique pour l'efficacité d'utilisation de N et pour le rendement grains. Certaines variétés telles que Merchouch et Kanz ont une large adaptation et sont plus performantes que les autres variétés quelque soit la richesse du sol en azote. De même, une relation positive entre la résistance à la sécheresse et l'utilisation de l'azote a été démontrée. En effet, les variétés qui résistent mieux au stress hydrique sont celles qui ont la capacité de mieux utiliser l'azote.

En irrigué, les résultats préliminaires des recherches sur le choix des parents montrent que les quinze variétés testées répondent positivement à l'apport d'azote. Les nouveaux génotypes Mehdia et Arrihane et la variété précoce Potam ont tendance à avoir les meilleures efficacités d'utilisation de l'azote sous les différentes conditions de richesse du sol en N. Dans le cas du sol pauvre en nitrates (sans apport d'engrais azoté), les variétés Arrihane et Rajae sont les plus performantes.

CONCLUSION

La recherche d'indices pouvant aider dans le raisonnement de la fertilisation azotée doit être continuée. Ces indices doivent être intégrés dans un modèle de prévision des apports de N par zone agro-écologique. En plus des indices déjà identifiés (niveau de nitrates dans le sol au début du cycle) d'autres, tels que la teneur du sol en matière organique, l'indice de minéralisation, l'humidité du sol (prévision de la pluviométrie ou des irrigations) et la concentration d'azote ou de chlorophylle dans le végétal, doivent être investigués. Les résultats de recherches conduites au Maroc sur l'identification des traits morphologiques et physiologiques liés à l'efficacité d'utilisation de l'azote et sur le choix des parents pour une éventuelle sélection de lignées plus efficaces dans l'utilisation de N sont prometteurs. Par conséquent, ces recherches méritent d'être renforcées.

FERTILISATION DU BLE EN IRRIGUE AU TADLA : ADAPTATION DES RESULTATS DE RECHERCHE AUX CONDITIONS DES AGRICULTEURS

Lamsalek K. - Mosseddaq F. - Moughli L.¹

RESUME

La maîtrise de l'utilisation des engrais par les agriculteurs est une condition sine qua non à l'intensification des cultures pratiquées. Dans cette optique les objectifs assignés à ce travail sont la validation des modèles généraux de fertilité du sol sur blé en irrigué au Tadla et l'élaboration de programmes de recommandations des apports d'engrais, visant à la fois une meilleure rentabilité de la culture et la protection de l'environnement.

Douze sites (agriculteurs) répartis dans le périmètre, ont été choisis de manière à explorer une large gamme de situations pédo-climatiques et culturales. Dans chaque site, nous avons distingué une parcelle de démonstration où les doses de N, P et K ont été recommandées sur la base des analyses de sol, et une autre fertilisée selon l'agriculteur. La conduite de la fertilisation est la seule technique qui différencie les deux traitements. Le dispositif expérimental est un bloc aléatoire complet avec 3 répétitions. Les observations et les mesures ont porté sur la production de la matière sèche, les composantes du rendement et l'absorption de N, P, K.

L'utilisation du modèle pour le calcul de l'apport de N dans les parcelles de démonstration a permis une réduction de 7% (environ 10 kg/ha) en moyenne par rapport à la quantité de N apporté par les agriculteurs, sans pour

autant affecter la production de la matière sèche, les teneurs en N et les rendements grains. Presque 25% de l'apport total de N est apporté dans les parcelles conduites selon les agriculteurs au semis, mais la plante n'a pas répondu à cet apport. Les rendements obtenus dans les parcelles de démonstration se sont avérés au moins égaux à ceux réalisés par les agriculteurs, ils sont significativement plus élevés au niveau de 5 sites sur 10. Les rendements réalisés dans les parcelles conduites selon les agriculteurs ont varié de 18 à 66 qx/ha avec une moyenne de 47 qx/ha. Au niveau des parcelles de démonstration, les rendements ont oscillé entre 21 et 70 qx/ha avec une moyenne de 48 qx/ha. Les apports de P étaient plus élevés au niveau des parcelles de démonstration, mais ceci n'a pas différencié la réponse du blé entre les deux traitements. De même, bien qu'il n'y ait pas eu d'apport de K, le blé n'a pas montré de déficience en cet élément dans la totalité des sites.

En moyenne, la marge (recettes totales - coût total de l'engrais) réalisée au niveau des parcelles de démonstration était plus élevée d'au moins 8%, soit 691 DH par rapport à celle des parcelles conduites selon les agriculteurs. L'écart entre les parcelles de démonstration et celles conduites selon les agriculteurs aurait pu être plus élevé (11%, soit 1117 DH) si la fertilité phosphatée des sols a été estimée correctement.

INTRODUCTION

La nutrition minérale est le facteur limitant le plus important après l'eau dans la production de la biomasse. Son efficacité est étroitement liée à la bonne exécution de l'ensemble des techniques culturales et aux conditions climatiques qui peuvent amplifier ou réduire cette efficacité. Il est capital d'apporter les engrais en quantité suffisante et aux moments appropriés, car la production est moindre en cas de déficience, mais, l'excès est préjudiciable aussi bien pour la plante que pour l'environnement.

Depuis 1975, le département d'Agronomie n'a cessé de mener des études sur la fertilisation minérale des cultures. Celles-ci ont d'abord porté sur l'analyse de l'élaboration du rendement en relation avec les états hydriques et azotés du sol pour différentes modalités d'apport de N. Puis de 1986 jusqu'à 1990, les études furent axées sur des aspects physiologiques de la nutrition azotée, en analysant les phénomènes d'assimilation et de translocation de N entre différents organes de la plante. Une fois ces aspects clarifiés, la nécessité d'élaborer des stratégies de conduite de la fertilisation azotée, qui tiennent compte des conditions du milieu en vue d'une amélioration de la productivité, a imposé un programme de recherche qui vise à raisonner le besoin de la culture en fonction d'un certain nombre de paramètres du milieu et de la culture. La synthèse de ces travaux a permis de dégager des modèles généraux de fertilité des sols. Le présent travail a été conduit en grandes parcelles chez les agriculteurs en vue de finaliser des stratégies de conduite de la fertilisation du blé en se

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

basant sur ces modèles. Il s'insère dans le cadre des Projets de Soutien au Développement Agricole (PSDA) au niveau de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tadla (ORMVAT) et vise la maîtrise de l'utilisation des engrais par les agriculteurs. Les objectifs que nous nous sommes assignés sont :

1/ Valider les modèles généraux de fertilité des sols en analysant l'élaboration du rendement du blé en réponse à différentes modalités de conduite de la fertilisation.

2/ Elaborer des programmes de recommandation des engrais sur blé en irrigué visant à la fois une meilleure rentabilité de la culture et la protection de l'environnement.

MATERIELS ET METHODES

Les essais ont été conduits dans le périmètre irrigué du Tadla au cours de la campagne agricole 1998 – 1999. Les précipitations annuelles ont été de 166, 200 et 173 mm, respectivement, au niveau des stations des Beni Amir (Centre Régional de l'Arboriculture du Tadla, CRAT), Beni Moussa-Est (Station des Expérimentations Hydro-agricoles, SEHA) et Beni Moussa-Ouest (Ferme d'Application du Tadla, FAT) (figure 1).

Plusieurs agriculteurs (12) répartis entre les Béni - Amir et les Béni - Moussa ont été choisis de manière à explorer une large gamme de situations pédo-climatiques et culturelles susceptibles de créer des conditions du milieu contrastées (tableau 1).

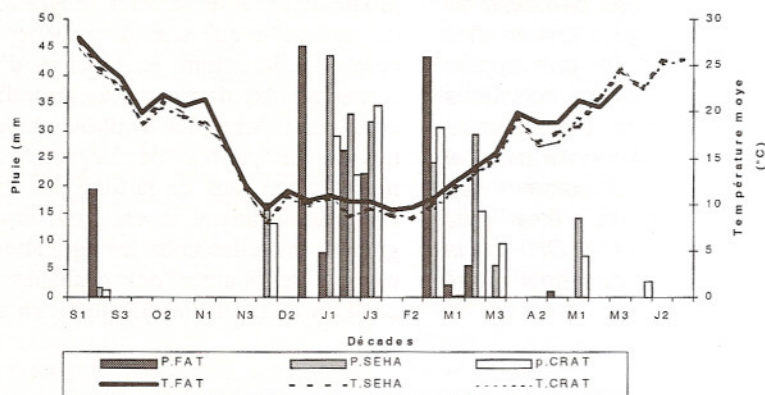


Figure 1. Précipitations et températures au cours de la campagne 1998/1999 dans le périmètre de Tadla

Tableau 1. Caractérisation des sites d'expérimentation

Zone	CDA	Site	SAU (ha)	Type de sol	Sup. céréale (ha)	Précédent cultural
BA	502	S1	7	Calcimagnésique	1.3	Betterave
	503	S2	24		4.5	Blé tendre
	504	S3	5.6		1.3	Maïs
	505	S4	5.8		1	Luzerne
BME	520	S5	5.5	Iso-humique	1	Betterave
	521	S6	27		6.5	Betterave
	521	S7	7		2.5	Haricot sec
	522	S8	5		1.6	Oignon
	523	S9	10		3	Betterave
	525	S10	40		18	Betterave
BMO	537	S11	8.5	Iso-humique	1	Haricot sec
	537	S12	9		4	Maïs

La caractérisation physico-chimique des sols a montré que la classe des sols isohumiques est la plus représentée dans le périmètre du Tadla (83% contre 11% des sols calcimagnésiques).

Nous avons noté une variabilité spatiale très importante de la teneur initiale du sol en N minéral, en P assimilable, en K échangeable et en matière organique (Tableau 2). En utilisant les normes suggérées par California Fertilizer Association (1985) et Moughli (1990) pour les grandes cultures, il n'y aurait pas de réponse à un apport de K sur la totalité des parcelles étudiées, alors que 10 sites (83% des sites d'expérimentation) répondraient à un apport de P, ce qui est contradictoire avec les résultats des travaux antérieurs dans la même région. Certaines réserves ont été émises quant à la fiabilité des résultats d'analyse de P, mais faute de

temps, nous n'avons pas pu refaire les analyses de sol.

Dans le but de finaliser une stratégie de conduite de la fertilisation du blé, nous avons analysé les composantes de rendement en réponse à deux modalités d'apport d'engrais : selon l'agriculteur et selon les analyses de sol. A l'exception de la conduite de la fertilisation qui constitue le facteur étudié ; les autres techniques culturales ont été conduites de la même façon au niveau de chaque site, pour la parcelle fertilisée selon l'agriculteur et la parcelle de démonstration.

Au niveau des parcelles de démonstration nous n'avons pas prévu d'apport de K, tandis que P a été incorporé dans le sol sous forme de phosphate super triple, les doses recommandées ont été déterminées sur la base de la valeur critique 12 mg de P par Kg de sol (Moughli, 1990). Les doses de N ont été calculées sur la base de l'équation du modèle général de fertilité des sols élaborée par El Bezzaz (1997).

La formule de calcul est la suivante :

$$\text{Besoin N} = ((\text{Rdt obj.} - (1.03 \text{ NO}_3 + 15.14)) \times \text{Nu}) / \text{C.U.A.}$$

avec :

Rdt obj. : Rendement objectif

Nu : Quantité de N requise pour produire 1 ql de grain

C.U.A. : Coefficient d'utilisation apparent de N

Sur la base des travaux antérieurs nous avons adopté les hypothèses suivantes :
 Rdt obj. = 60 qx/ha ; Nu = 3 Kg N/ql grain (Nu = 1/EUN, EUN = Efficacité d'utilisation de N) ; et C.U.A. = 70%.

Tableau 2. Principales caractéristiques physico-chimiques des sols des sites d'expérimentation.

Site	M.O.	N-NO ₃	N-NH ₄	N minéral	P assim.	K éch.	A %	L %	S %
1	2,3	13,3	9,8	23,1	13,6	392,0	20,4	35,7	43,9
2	1,4	23,1	16,1	39,2	2,3	210,0	41,8	44,0	14,1
3	2,6	24,5	18,9	43,4	10,0	289,0	35,4	32,8	31,8
4	1,9	25,9	8,4	34,3	5,2	329,0	28,2	46,5	25,6
5	2,3	18,9	51,1	70,0	12,4	252,0	33,7	39,3	27,0
6	2,5	11,2	9,8	21,0	6,1	354,0	41,8	39,9	18,3
7	2,4	133,7	21,0	154,7	16,7	837,0	31,2	41,2	27,6
8	2,4	11,2	9,8	21,0	2,7	308,0	49,9	34,8	15,3
9	1,9	8,4	10,5	18,9	22,4	289,0	55,2	29,0	15,8
10	2,1	20,3	4,2	24,5	3,8	397,0	40,4	37,4	22,2
11	1,6	21,0	3,5	24,5	2,5	326,0	41,9	36,1	22,0
12	1,2	4,9	11,2	16,1	3,6	256,0	41,5	36,7	21,8
Moy.	2,0	26,4	14,5	40,9	8,4	353,3	38,5	37,8	23,8
C.V.	22,0	130,7	87,1	95,0	77,9	45,9	24,5	12,7	35,1

Les doses de N recommandées ont été appliquées sous forme d'ammonitrate, fractionnées en deux : la moitié au stade A et l'autre moitié au stade B (tableau 3). Les agriculteurs ont apporté plusieurs types d'engrais de fond. La forme la plus dominante est le 14-28-14. Les doses de N apportées par les agriculteurs sont plus élevées que celles apportées dans les parcelles de démonstration. P est apporté en engrais de fond, seul ou combiné avec N et K. Les quantités de P utilisées dans les parcelles de démonstration sont plus élevées que celles apportées dans les parcelles conduites par les agriculteurs. Les sols de la région de Tadla sont riches en K échangeable, mais cela n'a pas empêché certains agriculteurs d'apporter cet élément au sol, combiné avec N et P. Les parcelles conduites selon les agriculteurs des sites S2, S6, S8, S9, S10 et S12 ont reçu trois apports de N. Un premier apport a été effectué au semis, un deuxième apport a été effectué au stade A et le reste a été apporté au stade B. Au niveau d'autres sites, N a été fractionné en deux ; au semis et au stade A, c'est le cas des sites S3, S7 et S11 ; ou bien au stade A et au stade B, le cas du site S5. Enfin, pour

Tableau 3. Doses et dates d'apport de N, P et K dans les parcelles fertilisées selon les agriculteurs (A) et dans les parcelles de démonstration (D).

Site	N au semis (kg/ha)		Azote en couverture (kg/ha)				Azote total apporté (kg N/ha)		Phosphore		Potassium	
			Stade A		Stade B				kg P ₂ O ₅ /ha		kg K ₂ O/ha	
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
1	0	0	46	67	0	67	46	134	0	45	0	0
2	28	0	92	50	92	50	212	101	56	135	28	0
3	63	0	63	34	0	34	117	67	0	68	0	0
4	0	0	67	34	0	34	67	67	0	135	0	0
5	0	0	34	50	34	50	67	101	135	45	0	0
6	28	0	34	67	67	67	129	134	56	135	28	0
7	28	0	67	34	0	34	95	67	56	0	28	0
8	56	0	42	67	58	67	155	134	112	135	56	0
9	21	0	34	84	67	84	122	168	42	0	21	0
10	49	0	80	50	34	50	162	101	56	135	28	0
11	35	0	78	50	0	50	113	101	70	135	35	0
12	21	0	67	84	67	84	155	168	0	135	0	0
Moy.	27	0	59	56	35	56	120	112	49	92	19	0
CV %	77		35	32	99	32	39	32	91	61	99	

les deux sites S1 et S4, N a été apporté au sol en une seule fois au stade A. Les essais ont été conduits selon un dispositif en blocs aléatoires complet avec 3 répétitions pour contrôler une éventuelle hétérogénéité du milieu. La détermination des stades A et B a été faite par observation de l'apex du brin maître effectuée à la loupe binoculaire selon la méthode de Le lièvre et *al.* (1978). Le peuplement pied a été déterminé à la levée sur deux placettes de 1m², et ce pour tous les traitements et pour toutes les répétitions. Des prélèvements ont été faits aux stades A, B, Anthèse et maturité sur 2 placettes de 0.5 * 0.5 m², par traitement et par bloc. Les échantillons ainsi prélevés, séchés à l'étuve à 70°C pendant 48 heures, ont servi à la détermination de la matière sèche (MS) et des prélèvements par la plante de N, P et K. Le tallage herbacé, le tallage épi et les composantes de l'épi ont été déterminés sur ces échantillons. Les rendements grain et paille ont été mesurés à la

maturité sur une placette de 2 m² réservée à cet effet. Les parcelles fertilisées selon les agriculteurs et celles de démonstration ont été conduites de la même façon, à l'exception de la conduite de la fertilisation minérale. C'est la raison pour laquelle, nous n'avons considéré que les charges relatives aux engrais appliqués pour la comparaison de point de vue économique des deux parcelles. Nous avons retenu les prix des engrais en vigueur au Tadla durant la campagne 1998-99. Le coût de l'unité fertilisante a été calculé en se référant au prix des engrais utilisés, le TSP pour P (203 DH/ql) et l'ammonitrate et le sulfate d'ammonium pour N, respectivement, 125 et 103 DH/ql.

Pour le calcul des recettes, nous avons retenu les prix de vente au moment de la récolte au Tadla, soit 300 DH/ql de blé dur, 260 DH/ql de blé tendre et 50 DH/ql de paille. La comparaison a été faite sur la base des différences de marges au niveau des deux parcelles.

Marge = Recettes totales - Coût des éléments fertilisants

Au niveau de chaque site, nous avons analysé les écarts absolus (Marge (D) - Marge (A)) et relatifs ((Écart absolu/Marge (A)) x 100) entre les parcelles de démonstrations et les parcelles fertilisées selon les agriculteurs.

Après saisie et vérification des données à l'Excel, le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide du logiciel SAS. La comparaison des moyennes a été faite sur la base du test PPDS à 5%. Nous avons également établi certaines corrélations et régressions entre des variables à l'aide du logiciel Excel.

RESULTATS ET DISCUSSION

Prélèvement des éléments minéraux et croissance du blé

Le choix des sites (agriculteurs) s'est avéré justifié. Il a effectivement permis une large gamme de conditions pédo-climatiques et culturales qui s'est traduite par une grande variabilité des résultats d'un site à l'autre. Les doses de N recommandées dans des parcelles de démonstrations ont varié de 67 à 168 kg N/ha avec une moyenne de 112 Kg N/ha.

Alors qu'au niveau des parcelles conduites selon les agriculteurs, les apports de N ont oscillé entre 46 et 212 kg N/ha avec une moyenne de 120 kg N/ha. Nos résultats illustrent bien également l'importance de l'ensemble des modalités de l'apport de N (dose, date et forme). Presque un quart de l'apport total de N est apporté dans les parcelles conduites selon les agriculteurs au semis, mais la plante n'a pas répondu à cet apport, ce qui laisse penser que cet azote peut être facilement lixivié en profondeur, peut occasionner des pertes et augmenter les risques de pollution des eaux souterraines. Pour P, les doses utilisées selon les analyses de sol ont été très élevées (presque le double) par rapport à celles apportées dans les parcelles conduites selon les agriculteurs.

Cependant, ces doses ne se sont pas traduites par une augmentation du rendement. La matière sèche totale élaborée à la fin du cycle a oscillé autour de 112 et 110 qx/ha au niveau des deux parcelles. Cette variable a pu différencier les deux parcelles au niveau des sites (S2, S8, S10, S11) en faveur des parcelles (D) et au niveau des sites S4 et S12, en faveur des parcelles (A). Nos résultats permettent de constater que les doses exagérées de N apportées par les agriculteurs au niveau des sites S2, S8, S10 et S11, ne se traduisent pas par une augmentation de la matière sèche totale. A la récolte, les teneurs des grains en N dans les parcelles conduites selon les agriculteurs ont oscillé entre 1.8 % et 2.8 % avec une moyenne de 2.3%, soit une teneur en protéine comprise entre 10.3 et 15.8 %. Sur les parcelles de démonstration, ces teneurs ont varié entre 1.8 % et 2.7%, soit une teneur en protéine entre 10.4% et 15.1%. A l'exception des sites des BME à précédent betterave (S6) et à précédent oignon (S8), toutes les parcelles conduites par les agriculteurs et celles de démonstration ont présenté des teneurs en N des grains semblables. Au niveau du premier site S6, la différence enregistrée en faveur de la parcelle de démonstration est due à un apport azoté plus important au niveau de cette parcelle. Alors qu'au niveau du site S8, la teneur faible en N du grain dans la

parcelle de démonstration est le résultat d'un rendement plus important qui s'est traduit par une plus grande dilution de N dans les grains. (tableau 4).

Tableau 4. quantités absorbées de N, P et K à la maturité par le blé.

Site	Trait.	Exportations totales (kg/ha)		
		N	P	K
1	A	80,7	36,7	141,2
	D	115,6	30,8	141,4
2	A	69,8	16,3	110,0
	D	87,3	21,0	147,4
3	A	163,0	39,8	235,2
	D	128,3	35,9	109,0
4	A	136,6	30,0	112,9
	D	137,9	25,5	95,3
5	A	142,9	33,3	145,4
	D	159,7	29,3	120,7
6	A	120,9	27,5	101,5
	D	133,9	24,6	102,9
7	A	137,6	23,3	120,0
	D	86,8	19,6	85,6
8	A	181,2	40,2	275,8
	D	158,9	38,1	194,4
9	A	198,9	49,2	169,1
	D	203,3	47,5	236,3
10	A	150,4	41,7	165,2
	D	134,0	40,4	190,3
11	A	138,9	30,8	116,1
	D	158,5	38,9	135,5
12	A	189,5	41,8	184,0
	D	171,9	37,7	122,4
Moy.	A	142,5	34,2	156,4
	D	139,7	32,5	140,1
CV %	A	27,6	26,8	0,3
	D	24,2	26,6	0,4

L'analyse statistique a permis de constater la présence d'une bonne corrélation entre le rendement et N absorbé (r = 0.9). Cependant, nous avons noté une faible corrélation entre le rendement et N apporté. Les quantités absorbées de P et K étaient pratiquement identiques dans les parcelles (A) et dans les parcelles (D) Ceci indique, d'une part, que la quantité de N apporté dans les parcelles de démonstration a été suffisante et d'autre part, les apports de P et de K ne se sont pas avérés justifiés, les besoins du blé en ces éléments peuvent être couverts par la fourniture du sol.

Analyse de l'élaboration du rendement

Le rendement réalisé dans les parcelles conduites selon les agriculteurs a varié de 18 à 66 qx/ha avec une moyenne de 44 qx/ha pour le blé tendre, et de 43 à 63 qx/ha avec une moyenne de 53 qx/ha pour le blé dur. Alors qu'au niveau des parcelles de démonstration, il a varié de 21 à 70 qx/ha et de 49 à 58 qx/ha, respectivement, pour le blé tendre et le blé dur avec des moyennes de 45 et 53 qx/ha. De faibles rendements ont été enregistrés au niveau des sites S1 du fait des conditions hydriques défavorables (coupure de l'eau d'irrigation) après l'anthèse et S2, suite à une attaque par la septoriose. L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les deux traitements en matière du rendement grain pour 5 sites, tous en faveur des parcelles de démonstration (S2, S8, S11, S1, S5).

Pour les 5 sites restants, les rendements obtenus pour les deux traitements ne présentent pas de différence significative. Au niveau des sites S2, S8 et S11, les agriculteurs ont apporté 212, 155 et 133 kg N/ha pour obtenir un rendement grain, respectivement, de 18, 64 et 43 qx/ha, alors qu'un apport de 101, 134 et 101 kg N/ha dans les parcelles de démonstration a permis d'obtenir des rendements significativement plus élevés soient, respectivement, 21, 70 et 58 qx/ha. Au niveau du site S10, l'agriculteur a apporté 162 kg N/ha pour obtenir un rendement de 52 qx/ha, alors que le même rendement est atteint au niveau de la parcelle de démonstration avec 101 kg N/ha. Il est à signaler que dans les parcelles conduites selon les agriculteurs au niveau des sites S2, S8, S11, S10, plus d'un quart de l'apport total a été apporté au semis. Au niveau des sites S1 et S5, les agriculteurs ont apporté des faibles quantités de N, respectivement, 46 et 67 Kg N/ha par rapport à celles préconisées selon le modèle. Ce qui a permis d'avoir un NG/m² plus élevé au niveau des parcelles de démonstration par conséquent un rendement grain plus élevé. Les rendements grain obtenus par les deux traitements, cas des sites S6 et S9 des BME à précédent betterave sont similaires même si la

dose de N apporté par l'agriculteur est inférieure à celle apportée dans les parcelles de démonstration. Au niveau du premier site la parcelle de démonstration a réalisé un nombre de grain par m² significativement plus élevé que celui réalisé dans la parcelle conduite selon l'agriculteur, cette supériorité a été compensée par le PMG plus important dans la parcelle conduite par l'agriculteur, alors qu'au niveau du deuxième site (S9) les deux composantes NG/m² et PMG sont légèrement faibles au niveau de la parcelle de démonstration. L'indice de récolte (HI) a varié entre 29 et 49% avec une moyenne de 42% dans les parcelles conduites selon les agriculteurs et entre 33 et 52% avec une moyenne de 43% au niveau des parcelles de démonstration. L'indice de récolte le plus faible a été noté au niveau de la parcelle de l'agriculteur S1, le manque de N (45 Kg N/ha) dans cette parcelle a pénalisé beaucoup plus le rendement grain que la production de la matière sèche. Alors qu'au niveau du site S2 des BA la faiblesse de l'indice de récolte est le résultat d'un faible rendement grain (champ attaqué par la septoriose).

La décomposition du rendement en ses principales composantes a montré que le nombre de grains par m² explique une bonne part de la variabilité du rendement grain ($r = 0.8$). Le peuplement réalisé est en moyenne de l'ordre de 233 P/m² pour l'ensemble des sites, il est compris entre 181 et 300 P/m². Ces résultats sont inférieurs à ceux trouvés par Ratim (1996) qui a réalisé un peuplement moyen de 336 P/m².

Vu que tous les agriculteurs ont utilisé des semences sélectionnées, nous pouvons expliquer cette faiblesse de peuplement pied par les conditions de semis défavorables pour la majorité des sites: semis à la volée, terrain non nivelé et la présence des obstacles physiques pour la levée. Pour l'ensemble des sites, il n'y a pas de différence significative entre la parcelle conduite selon l'agriculteur et celle de démonstration. Le nombre de grains/m² s'élabore pendant une longue phase du cycle de la plante, nous l'avons décomposé en épis/m² et en grains/épi qui à leur tour dépendent de la levée, du

tallage herbacé et du tallage épi. Le peuplement épi reflète les conditions qui ont régné pendant la phase levée-montaison.

Les résultats obtenus sont très variables et passent du simple au double selon les sites. L'analyse de la variance a révélé qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux peuplements épis réalisés au niveau des parcelles conduites selon les agriculteurs et des parcelles de démonstration. Le coefficient de tallage herbacé (CTH) a varié entre 2 et 3.6 avec une moyenne de 2.6 (sites et variétés confondues (Tableau 5).

Ces chiffres sont inférieurs à ceux rapportés par Khatibi (1993) pour Marzak (4.3) et pour Marchouch (3.7), même si le nombre de pieds par m² est faible dans nos essais. Ceci peut être expliqué par le ralentissement de développement de la culture pendant la période d'élaboration de cette composante du fait des basses températures qu'a connues la région pendant cette période. L'analyse statistique a montré qu'il y a une différence hautement significative entre les deux traitements au niveau du site des BME à précédent betterave (S10) en faveur de la parcelle démonstration. Ceci peut être du au fait que N est apporté au stade A sous forme d'urée dans la parcelle conduite selon l'agriculteur, forme moins rapidement disponible pour la plante en comparaison avec l'ammonitrate apporté dans la parcelle de démonstration.

Aucune autre différence significative n'a été enregistrée au niveau des autres sites. Le tallage épi est fonction du tallage herbacé et du pourcentage de survie de ces talles. Dans notre cas, un tallage herbacé faible a été associé à un taux de survie élevé ce qui s'est traduit par un CTE qui se situe dans les normes établies au sein du Département d'Agronomie et d'Amélioration des Plantes. Il a varié de 1 à 1.7 avec une moyenne de 1.3. Le NG/E maximum est atteint dans le site (S3) à précédent maïs 52 et 53, respectivement, pour les parcelles conduites selon les agriculteurs et celles de démonstration, cela est du premièrement à l'effet variété (Orkause est une variété nouvellement introduite dans

Tableau 5. Rendement grain et ses composantes au niveau des parcelles conduites selon les agriculteurs (A) et celles de démonstration (D) par traitement et par variété.

Site	Variété	Traitement	P/m ²	CTH	CTE	E/m ²	G/E	G/m ²	PMG	Rdt gr	HI%
1	Achtar	A	215 a	2,9 a	1,2 a	262 a	35 a	9045 a	46 a	32	29 a
		D	215 a	2,9 a	1,3 a	279 a	37 a	10425 b	43 b	37	33 a
4	Achtar	A	216 a	2,9 a	1,0 a	219 a	55 a	11933 a	42 a	46	44 a
		D	214 a	2,8 a	1,0 a	215 a	54 a	11588 b	43 b	44	46 a
6	Achtar	A	199 a	2,5 a	1,2 a	233 a	41 a	9471 a	46 a	40	43 a
		D	199 a	2,4 a	1,4 a	269 a	46 a	12451 b	43 b	43	44 a
7	Achtar	A	184 a	2,8 a	1,7 a	306 a	38 a	11532 a	42 a	43	41 a
		D	186 a	2,5 a	1,4 b	251 a	34 a	8564 b	44 b	30	46 b
8	Achtar	A	285 a	2,9 a	1,5 a	424 a	46 a	18968 a	37 a	64	45 a
		D	283 a	3,1 a	1,6 a	441 a	58 a	21643 b	35 b	70	46 a
9	Achtar	A	232 a	2,3 a	1,4 a	327 a	51 a	16805 a	41 a	66	48 a
		D	231 a	2,3 a	1,9 a	319 a	47 a	15225 b	42 b	66	47 a
2	Marchouch	A	221 a	2,0 a	1,1 a	236 a	33 a	7803 a	26 a	18	36 a
		D	222 a	2,0 a	1,0 b	229 a	35 a	8089 b	31 b	21	33 a
5	Marchouch	A	295 a	2,5 a	1,2 a	348 a	39 a	13411 a	43 a	45	38 a
		D	296 a	2,0 a	1,4 a	408 a	41 a	16669 b	38 b	50	43 a
3	Orkause	A	300 a	2,4 a	1,0 a	312 a	52 a	16272 a	34 a	52	40 a
		D	300 a	2,4 a	1,0 a	303 a	53 a	16170 b	31 b	49	41 a
10	Kanz	A	220 a	2,5 a	1,7 a	362 a	38 a	13672 a	45 a	52	42 a
		D	218 a	3,6 b	1,4 a	314 a	40 a	12512 b	44 b	50	38 b
11	Karim	A	247 a	2,2 a	1,1 a	272 a	29 a	8067 a	56 a	43	49 a
		D	249 a	2,5 a	1,2 a	307 a	38 b	11605 b	57 b	58	52 a
12	Karim	A	183 a	2,7 a	1,6 a	299 a	44 a	13256 a	53 a	63	46 a
		D	181 a	2,6 a	1,7 a	305 a	40 b	12113 b	54 b	59	48 b
Moy.		A	233	2,5	1,3	300	42	12519	43	47	42
		D	233	2,6	1,3	303	44	13088	42	48	43
CV %		A	17	11,6	20,0	20	19	29	19	29	13
		D	18	17,6	17,5	22	18	29	19	30	14

P/m²: Pieds par m²; % surv.: % de survie; G/m²: Grains par m²; CTE: Coefficient de tallage épi; HI%: Indice de récolte; CTH: Coefficient de tallage herbacé; E/m²: Epis par m²; PMG: Poids de mille grains; G/E: Grains par épi

l'exploitation S3), et deuxièmement aux conditions hydriques non limitantes durant tout le cycle de la culture (6 irrigations). La différence entre les deux traitements en matière de NG/E est significative au niveau des sites S11 et S12. Au niveau du site des BMO à précédent haricot sec (S11), la parcelle de démonstration a réalisé un nombre de grains par épi supérieur à celui obtenu dans la parcelle (A), alors qu'au niveau du site S12 des BMO à précédent maïs, le nombre de grains par épi est plus élevé dans la parcelle conduite selon l'agriculteur. Le PMG est la dernière composante qui s'élabore durant le cycle de la culture.

Elle a pu différencier entre les deux parcelles aux niveaux de tous les sites : 4 en faveur des parcelles de démonstration (S2, S4, S7, S11) et le reste en faveur des parcelles conduites

selon les agriculteurs. Au niveau de la quasi-totalité des sites (S1, S4, S5, S6, S7, S8, S9 et S12), les composantes G/m² et PMG se sont avérées corrélées négativement ; en d'autre terme plus le nombre de grains à remplir est important plus le poids des grains est faible (tableau 5).

Analyse économique

Les coûts totaux des engrais utilisés ont été très variables d'un site à l'autre du fait de la grande variabilité des doses d'engrais (tableau 6). Ils ont oscillé entre 200 et 1366 DH/ha avec une moyenne de 812 DH/ha pour les parcelles conduites selon les agriculteurs et de 578 à 1234 avec une moyenne de 917 DH/ha pour les parcelles de démonstration. En ce qui concerne N, les charges ont varié entre

200 et 921 DH/ha avec une moyenne de 500 DH/ha pour les parcelles fertilisées selon les agriculteurs et de 250 à 625 DH/ha avec une moyenne de 450 DH/ha pour les parcelles de démonstration. Ces chiffres montrent que les quantités de N utilisées par les agriculteurs ont coûté en moyenne 10% de plus que celles utilisées dans les parcelles de démonstration. L'analyse globale de tous les sites, nous montre que les parcelles de démonstration ont réalisé des recettes totales plus élevées que celles obtenues par les agriculteurs, soit un gain moyen de 796 DH/ha. Le site S2 des BA, infesté par la septoriose a réalisé les recettes totales les plus faibles par rapport aux autres sites (tableau 6). La marge dégagée au niveau des parcelles (A) a été en moyenne de 15524 DH/ha contre 16370 DH/ha réalisée dans les parcelles de

Tableau 6. Recettes et coûts des engrais au niveau des parcelles conduites selon les agriculteurs (A) et celles de démonstration (D) par traitement et par site.

Site	Trait	Recettes			charges			
		grains	paille	totales	N	P	E. fond	E. Totaux
1	A	8354	3843	12196	200	0	0	200
	D	9545	3740	13285	500	203	203	703
2	A	4556	1576	6132	921	253	480	1280
	D	5486	2157	7643	375	609	609	984
4	A	11997	2944	14941	250	0	0	250
	D	11566	2594	14159	250	609	609	859
5	A	11825	3743	15568	250	609	609	859
	D	13001	3335	16335	375	203	203	578
6	A	10370	2648	13018	496	253	480	855
	D	11137	2778	13914	500	609	609	1109
8	A	16703	3868	20572	648	505	960	1366
	D	18109	4112	22221	500	609	609	1109
9	A	17208	3614	20821	466	189	360	735
	D	17183	3669	20853	625	0	0	625
10	A	15559	3566	19125	674	253	583	1033
	D	14914	4005	18919	375	609	609	984
11	A	13030	2254	15284	491	316	600	940
	D	17292	2697	19989	375	609	609	984
12	A	18850	3737	22587	603	0	103	603
	D	17743	3139	20882	625	609	609	1234
Moy	A	12845	3179	16024	500	238	418	812
	D	13598	3222	16820	450	467	467	917
CV	A	34	25	31	45	87	74	47
	D	31	20	27	27	50	50	24.

démonstration, si nous ne considérons que le coût de N. Ce qui est équivalent à un écart relatif de 9% en faveur des parcelles de démonstration. L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les deux traitements en matière de marge réalisée dans 5 sites: 4 en faveur des parcelles de démonstration (S1, S2, S8, S11) et un site en faveur de la parcelle conduite selon l'agriculteur (S12). En matière de P apporté, l'analyse économique comparée, des parcelles de démonstration par rapport aux parcelles conduites selon les agriculteurs montre que nous avons pu dégager des marges de l'ordre de 15787 DH/ha et 16353 DH/ha, respectivement. Ainsi, nous notons un écart moyen de l'ordre de 567 DH/ha en faveur des parcelles de démonstration, malgré les doses de P plus élevées que celles utilisées dans les parcelles conduites selon les agriculteurs (tableau 7a). En se fiant aux nouveaux résultats des analyses du sol (DSS) plus

vraisemblables dans la région du Tadla; et en adoptant les mêmes rendements, hypothèse encore une fois vraisemblable car l'apport de P n'a pas vraiment fait la différence entre les parcelles (A) et (D) en matière de rendement, nous notons qu'au niveau des parcelles de démonstrations les marges ont varié entre 7643 et 21612 DH/ha avec une moyenne de 16718 DH/ha ; soit un écart relatif de 11% par rapport aux parcelles (A). Si nous ne considérons que le coût des engrais de fond, la marge dégagée varie entre 5652 et 22484 DH/ha, avec une moyenne de 15607 pour les parcelles (A) et entre 7034 et 21612 DH/ha avec une moyenne de 16353 DH/ha pour les parcelles (D), soit un écart relatif de 7% en faveur des parcelles (D). En se basant sur les nouveaux résultats des analyses de sol (DSS), les parcelles (D) peuvent réaliser une augmentation en terme de marge de 3%, soit un gain supplémentaire de 447 DH/ha. Si nous raisonnons en matière d'engrais de

couverture, les marges réalisées par les deux parcelles ont oscillé autour de 15630 et 16370 DH/ha, respectivement, dans les parcelles (A) et dans les parcelles (D), soit un écart relatif en faveur des parcelles (D) de 8%.

L'analyse économique comparée des parcelles de démonstration et celles conduites selon les agriculteurs en matière de coût total des engrais apportés, montre que les marges réalisées au niveau des parcelles (A) et (D) ont oscillé autour de 15212 et 15903 DH/ha, respectivement ; soit un écart de 8% en faveur des parcelles (D). Cet écart peut atteindre 11% soit un gain de 1588 DH de plus si nous avons utilisé les bons résultats des analyses de sol en P (tableau 7b).

Tableau 7. Analyse économique comparée des parcelles conduites selon les agriculteurs (A) et celles de démonstration (D), a : selon les analyses de sol ORMVAT et b : selon les analyses de sol DSS/IAV.

7 a

	Recettes - coûts		Ecart D - A	
	A	D	Absolu	%
N	15 524	16 370	846	9
P	15 787	16 353	567	5
E. fond	15 607	16 353	746	7
E. couv.	15 630	16 370	740	8
E. totaux	15 212	15 903	691	8

7 b

	Recettes - coûts		Ecart D - A	
	A	D	Absolu	%
P	15 524	16 718	1 194	11
E. fond	15 607	16 718	1 193	10
E. totaux	15 212	16 800	1 117	11

CONCLUSIONS

Le modèle général de fertilisation du sol a permis le calcul de doses de N raisonnables, en moyenne 7% plus faibles que celles utilisées par les agriculteurs, sans pour autant affecter la production des blés. Presque un quart de N total a été apporté dans les parcelles (A) au semis, mais la plante n'a pas répondu à cet apport. Pour P, les doses très élevées calculées selon les analyses de sol par rapport à celles apportées dans les parcelles conduites selon les agriculteurs ne se sont pas traduites par une augmentation du

rendement du fait que les résultats de l'analyse de sol étaient erronés. Les quantités absorbées de N, P et K se sont avérées identiques dans les parcelles (A) et dans les parcelles (D). Les rendements obtenus au niveau des parcelles (D) se sont avérés au moins égaux à ceux réalisés par les agriculteurs, ils ont été significativement plus élevés au niveau de 5 sites sur 10. L'analyse économique a montré que la marge (recettes totales - coût de l'engrais) dans les parcelles de démonstration a été de 8% plus élevée si on tient compte du coût total des engrais par rapport à la marge réalisée dans les parcelles fertilisées selon les agriculteurs. En se fiant aux nouveaux résultats des analyses de sol et en adoptant les mêmes rendements, la marge a été augmentée de 567 à 1194 DH en ne considérant que les charges relatives à l'apport de P, de 746 à 1193 DH pour les engrais de fond et de 691 à 1117 DH pour tous les engrais apportés.

REFERENCES

- Anonyme.** 1985. Soil Improvement Committee, California Fertilizer Association, Western Fertilizer Handbook. The Interstate printers and publishers, Inc.
- El Bezzaz, N.** 1997. Utilisation de résultats de recherche pour le développement d'un programme de fertilisation du blé en irrigué. Mémoire de troisième cycle, option Sciences du sol, IAV Hassan II, Rabat.
- Khatibi, M.** 1993. Elaboration de stratégies de conduite de la fertilisation azotée des blés en irrigué (cas du Tadla). Mémoire de 3^{ème} cycle Agronomie, I.A.V Hassan II. Rabat.
- Le Lièvre, F., M. Nolot and F. Papy.** 1978. Méthode de détermination des stades A et B dans une culture de blé. Acad. Agric., pp. 871 - 878.
- Mosseddaq, F. et El Majnaoui, M.** 1993. Etude socio- économique des exploitations agricoles, contraintes à la production céréalière. Tome1 : Cas du Tadla. Projet amélioration de la production céréalière en irrigué, Rapport. IAV Hassan, Rabat.
- Mosseddaq, F., Moughli, L. et Ghot, S.** 1993. connaissances des potentialités du milieu. Contraintes liées au climat et aux types de sol, Vol (I). Projet amélioration de la production céréalière en irrigué. Rapport. IAV Hassan II. Rabat.
- Mosseddaq, F. et Rami, E.** 1994 : Etude des exploitations et suivi de parcelles. Etude Agronomique des contraintes à la production céréalière cas du Tadla, Tome 2. Projet amélioration de la production céréalière en irrigué. Rapport. IAV Hassan II. Rabat.
- Mosseddaq, F.** 1996. Projet amélioration de la production céréalière en irrigué. Vol. V Rapport de synthèse. IAV Hassan, Rabat.
- Moughli, L.** 1990. Phosphorus soil test calibrations for wheat on Moroccan soils. Ph D Dissertation, Department of Agronomy, Colorado State University.
- Ratim, K.** 1996. Amélioration de la conduite technique des blés en irrigué (cas de Tadla) Essais itinéraires techniques. mémoire de 3^{ème} cycle Agronomie I.A.V Hassan II Rabat.

FERTILISATION DU BLE EN IRRIGUE AU TADLA : TRANSFERT DES RESULTATS DE RECHERCHE AUX AGRICULTEURS

F. Mosseddaq et E. Boumaaza ¹

RESUME

L'amélioration de la production céréalière suppose entre autre le transfert des résultats de la recherche aux agriculteurs. Ce travail a été conduit dans l'objectif de (i) analyser la conduite de la fertilisation des blés en irrigué au Tadla durant la phase après projet et son évolution, et (ii) évaluer le degré de transfert de l'information aux vulgarisateurs et agriculteurs. Durant la campagne 1996-97, une enquête menée auprès des agriculteurs a porté sur les caractéristiques de l'exploitation, l'itinéraire technique pratiqué et le comportement des agriculteurs vis à vis de la vulgarisation. Une autre menée auprès des vulgarisateurs a porté sur leurs caractères généraux et l'itinéraire technique qu'ils recommandent. Une 2^{ème} visite a été effectuée auprès des agriculteurs après les séances de vulgarisation afin d'évaluer leur impact sur les pratiques des agriculteurs. La conduite des céréales en irrigué au Tadla a connu une évolution notable entre les deux campagnes agricoles 1991-1992 et 1996-97, grâce en partie à l'encadrement des agriculteurs et à l'impact des travaux de recherche. Toutefois, la conduite de la fertilisation, notamment de couverture, le désherbage et le traitement contre les maladies restent défectueux chez les agriculteurs. Plusieurs vulgarisateurs (41%) recommandent des doses élevées (160 à 240 kg N/ha), ils visent à maximiser l'utilisation de l'ensemble des facteurs de production pour assurer

un bon rendement à l'agriculteur à tout prix. Afin de comparer les recommandations des vulgarisateurs et les pratiques des agriculteurs avec un itinéraire technique de référence, nous avons adopté des scores par modalités. L'évaluation des pratiques des agriculteurs et des recommandations des vulgarisateurs a montré que plus de la moitié des vulgarisateurs ne semblent pas avoir pris connaissance des résultats de la recherche en matière de fertilisation du blé. Ceux-ci se sont montrés moins proches du référentiel pour ce qui est de la fertilisation de fond et de couverture, du semis, du travail du sol et du traitement contre les maladies. Seulement 37% des agriculteurs de notre échantillon conduisent la fertilisation du blé de façon relativement proche des recommandations de la recherche. La fertilisation de couverture est une des techniques les plus corrélées au rendement et les moins maîtrisées par les agriculteurs du fait entre autres des problèmes de communication entre vulgarisateurs et agriculteurs. Ainsi, nous avons distingué des agriculteurs isolés qui n'effectuent aucun contact avec les vulgarisateurs (59%) et des agriculteurs réceptifs qui cherchent l'information et maintiennent des contacts réguliers avec les vulgarisateurs. Ces contacts se sont traduits par un taux d'adoption moyen de 64% au niveau de ce groupe, mais le taux d'adoption global au niveau de notre échantillon est seulement de 26%.

INTRODUCTION

L'amélioration de la production céréalière par une augmentation et une stabilisation des rendements est une tâche difficile qui demande beaucoup d'efforts, vu la multitude et la complexité des facteurs qui interviennent. Plusieurs travaux de recherche ont été conduits sur les céréales au Tadla et de nombreux résultats ont été réalisés. Même si les objectifs assignés à ces études sont différents, leur but ultime reste le transfert de leurs résultats aux agriculteurs en vue d'augmenter la production. Sur la base de plusieurs recherches qui ont été menées dans le périmètre irrigué de Tadla, notamment ceux conduits dans le cadre du projet sur l'amélioration de la production céréalière avec la DPV de 1991 à 1996, nous avons défini une conduite d'optimale du blé en irrigué dans ce périmètre (Mosseddaq, 1996). C'est ainsi qu'en matière de fertilisation azotée, compte tenu des quantités d'azote absorbées par les nouvelles variétés productives, du taux de recouvrement faible des engrais azotés, de l'azote fourni par le sol et des risques d'entraînement des nitrates en profondeur ; la dose 160 Kg/ha fractionnée en 2 apports aux stades A et B, constitue la dose de moindre risque en irrigué permettant les meilleurs rendements (Mosseddaq, 1996). Plus de détails sur l'adaptation selon les systèmes de cultures de cette dose et les modalités d'apport ont été donnés récemment (Mosseddaq et Moughli, 1999). En matière de fertilisation phospho-potassique, la plupart des sols du périmètre du Tadla, soit 90 à 94%, ont des teneurs plus ou moins élevées en P et en K selon les normes de CFA (1985) et selon

Moughli (1990). Par conséquent, un apport de P et K constituera une dépense inutile. Mais, il est impératif de conduire parallèlement des essais sur l'appauvrissement des sols en P et K de sorte à pouvoir prédire à l'avance les possibilités de carence en cet élément et prendre les dispositions nécessaires en temps opportun (Mosseddaq et al, 1993).

En vue d'améliorer la production céréalière qui se situe au-dessous du niveau souhaitable, il est indispensable que les résultats de recherches accumulés soient communiqués aux agents de développements et aux agriculteurs. Dans ce sens et en vue d'évaluer le degré de transfert de ces résultats de recherche aux agriculteurs, nous avons réalisé une étude analysant le devenir de ces résultats et l'impact des programmes de recherche sur les pratiques des agriculteurs et sur les recommandations des vulgarisateurs. Notre étude a visé deux principaux objectifs :

- L'analyse de la phase après projet : l'étude de la situation actuelle de la conduite technique des blés en irrigué au Tadla et son évolution par rapport au diagnostic agronomique effectué en 1991-92.
- L'évaluation du transfert de l'information aux vulgarisateurs et aux agriculteurs.

DEMARCHE ET METHODOLOGIE

A la fin du projet avec la DPV sur l'amélioration de la production céréalière (1991 à 1996) dans le périmètre irrigué du Tadla, nous avons essayé d'analyser les comportements des principaux acteurs de la chaîne de transfert de l'information, notamment, les agents de développement et les agriculteurs, ainsi que les relations entre eux. L'étude a été conduite durant la campagne 1996-97 caractérisée par une pluviométrie totale de 360mm alors que la moyenne annuelle de la région est de 387mm.

Dans un premier temps nous avons mené des enquêtes auprès de 103 agriculteurs et de 25 vulgarisateurs, répartis au niveau du périmètre, en vue d'analyser les pratiques des agriculteurs et les recommandations des

vulgarisateurs et de les comparer à la conduite optimale de la fertilisation définie sur la base des travaux de recherche dans la région. Les agriculteurs ont été choisis sur la base de 4 critères en l'occurrence le milieu, la taille de l'exploitation, le degré de performance, et la méthode de vulgarisation. Nous avons échantillonné un vulgarisateur par Centre de Développement Agricole (CDA) celui ci devant s'occuper de la filière céréales, être impliqué dans les trois méthodes de vulgarisation [rapprochée (contractuelle), de masse ciblée et de masse générale] et être en contact avec les agriculteurs enquêtés.

Nous avons également suivi certaines séances de vulgarisation pour analyser de près les méthodes de transfert de l'information. En vue d'évaluer l'impact de ces méthodes ainsi que le taux d'adoption des innovations par les agriculteurs nous avons effectué un 2^{ème} passage chez les agriculteurs après les séances de vulgarisation.

L'analyse statistique, analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) et analyse de la variance, a été effectuée au SAS après saisie, vérification des données et calcul des différents paramètres de la statistique descriptive au Quattro Pro.

L'étude a concerné toutes les pratiques de la conduite technique du blé en irrigué au Tadla, mais cet article ne traite que des résultats relatifs à la conduite de la fertilisation.

LES PRATIQUES DES AGRICULTEURS

Fumure organique

Parmi les agriculteurs enquêtés, 9% ont apporté une fumure sous forme de

fumier de ferme. Les agriculteurs stockent le fumier pendant un certain temps sans abri pour que les semences de mauvaises herbes lèvent. La majorité des agriculteurs qui apportent le fumier avancent que celui-ci facilite le travail du sol en le rendant moins compact et améliore la fertilité du sol. Les agriculteurs soulignent surtout l'effet positif de l'apport de fumier sur le rendement des cultures qui seront cultivées après le blé, notamment, la betterave ou la niora.

Fertilisation phospho-potassique

Certains agriculteurs (27%) n'ont pas apporté d'engrais de fond vu que le précédent est betterave ou niora. Ils expliquent ceci par le fait que ces cultures sont fortement fertilisées et par conséquent le blé profitera des reliquats du fumier et des fertilisants apportés. En outre, la grande partie des agriculteurs ayant apporté l'engrais de fond (73%) ont utilisé l'engrais ternaire le 14-28-14 et près de 19% des cas, ont utilisé le 13-26-13. Un seul agriculteur a utilisé l'engrais binaire 26,3-21,4 qui est plutôt utilisé pour la betterave (Tableau 1).

Le choix de la formule utilisée est dans la quasi-totalité des cas basés sur l'expérience propre des agriculteurs. Ainsi les agriculteurs ayant apporté le 14-28-14 estiment que c'est l'engrais adapté à la culture pendant toute la période de croissance. Dans ce sens, nous notons que les agriculteurs n'ont pas l'habitude de raisonner ni en terme de besoins des cultures ni en terme de richesse initiale du sol en éléments fertilisants. Les justifications avancées par les agriculteurs ayant choisi le 13-26-13 ou 26,3-21,4-0 qui sont plutôt recommandés pour la betterave, sont d'ordre économique.

Tableau 1. Les formes d'engrais utilisées pour le blé par les agriculteurs enquêtés.

Formules pratiquées		Nombre de cas	Fréquence (%)
Engrais de Fond	14-28-14	59	79
	13-26-13	14	19
	26,3-21,4	1	1
TOTAL		74	100
Engrais de Couverture	Urée (1)	49	54
	Ammonitrate (2)	19	21
	Sulfate d'Am. (3)	4	4
	(1) + (2)	16	18
	(2) + (3)	1	1
	(1) + (3)	1	1
TOTAL		91	100

Les agriculteurs peuvent avoir ces engrais au moment du semis et ils ne payent qu'après la récolte de la betterave ce qui réduit les dépenses pendant une période où les charges sont importantes. P est apporté pendant l'installation de la culture comme engrais de fond, les apports en cet élément sont compris entre 26 et 140 kg P_2O_5 /ha avec une moyenne de 64 kg P_2O_5 /ha et un écart type de 28 kg P_2O_5 /ha. La majorité des agriculteurs ayant apporté l'engrais de fond (Figure 1), soit 55% des cas, ont apporté une dose qui varie entre 26 et 60 kg P_2O_5 /ha et 36% des cas ont apporté des doses comprises entre 60 et 90 Kg P_2O_5 /ha. Le reste (9%) ont apporté une dose qui varie entre 90 et 140 kg P_2O_5 /ha.

Les agriculteurs utilisent des quantités assez importantes de P_2O_5 /ha, alors que des quantités relativement faibles en P sont souvent suffisantes pour produire le maximum de rendement (Moughli et al. 1989). Comme pour P, K est apporté une seule fois pendant l'installation de la culture. Les quantités apportées par les agriculteurs enquêtés varient entre 13 et 84 kg de K_2O /ha avec une moyenne de 32 kg K_2O /ha et un écart type de 14 kg K_2O /ha. La majorité des agriculteurs (64%) ont apporté une dose entre 13 et 35 kg de K_2O /ha (Figure 2), 29% des cas ont apporté des doses entre 35 et 50 kg de K_2O /ha et 4% ont apporté des doses qui varient entre 50 et 70 kg de K_2O /ha. Le reste (3%) des agriculteurs ont apporté des dose de 70 à 84 kg de K_2O /ha.

Fertilisation azotée

L'apport de N se fait surtout en couverture, les engrais utilisés sont : l'urée, l'ammonitrate, et le sulfate d'ammonium. Ces formes sont incorporées au sol de façon séparée ou combinée (Tableau 1). La forme la plus utilisée est l'urée, apportée par 53% des agriculteurs ayant apporté l'engrais de couverture. L'ammonitrate a été appliqué par 21% des cas et le sulfate d'ammonium a été également utilisé comme engrais de couverture par 4% des agriculteurs enquêtés. Les 21% restant, utilisent des combinaisons de plusieurs formes d'engrais azotés, dont la plus fréquente (18% des cas) est un apport combiné de l'urée et de l'ammonitrate. Certains agriculteurs enquêtés (15%) n'ont pas procédé à des apports d'engrais de couverture sur des parcelles à précèdent luzerne ou betterave, du fait que ces deux précédents laissent un sol assez riche en azote. Les quantités d'azote apporté sont assez variables ; elles varient de 13 à 260 kg N/ha, avec une moyenne de 100 kg N/ha (l'écart type est de 52 kg/ha) (tableau 2).

Près de 71% des agriculteurs enquêtés ont apporté entre 60 et 180 kg N/ha, alors que 39% ont apporté entre 60 et 120 kg N/ha. Les doses inférieures à 60 kg N/ha ont été appliquées dans 22% des cas et celles supérieures à 180 kg N/ha ont été apportées par 7% des agriculteurs (Figure 3).

Les blés fortement fertilisés sont cultivés après le sésame ou le maïs sous prétexte que ces deux cultures prélèvent beaucoup d'azote et épuisent le sol. La quantité d'azote apporté au semis varie entre 13 et 84 kg N/ha, avec une moyenne de 34 kg N/ha. La quasi-totalité des agriculteurs ayant apporté de l'azote au semis (91%) utilisent une dose d'azote au semis entre 13 et 50 kg N/ha. Le reste (8%), utilisent une dose qui varie entre 50 et 84 kg N/ha. La majeure partie de l'azote a été apportée en engrais de couverture en une à trois applications et les quantités apportées fluctuent entre 21 et 238 kg N/ha avec une moyenne de 75 kg N/ha (Figure 4). En effet, près de 82% des agriculteurs ont apporté des quantités comprises entre 30 et 120 kg N/ha en couverture ; le reste, soit 15% des cas ayant apporté l'engrais de couverture, ont appliqué une dose entre 120 et 180 kg/ha. Deux agriculteurs, n'ayant pas épandu d'engrais de fond, ont apporté une dose élevée d'azote en couverture (supérieure à 180 kg N/ha). Les agriculteurs raisonnent les doses apportées sur la base des quantités de pluies et du précédent cultural. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus l'engrais de couverture est apporté en une à trois applications, près de 71% des agriculteurs ont procédé à l'épandage de l'azote de couverture en un seul apport, 27% ont fractionné l'apport en deux applications (1/2,1/2). Le reste (2%) ont adopté trois apports d'azote (1/3,1/3,1/3).

Figure 1. Doses de P apportées au blé par les agriculteurs enquêtés

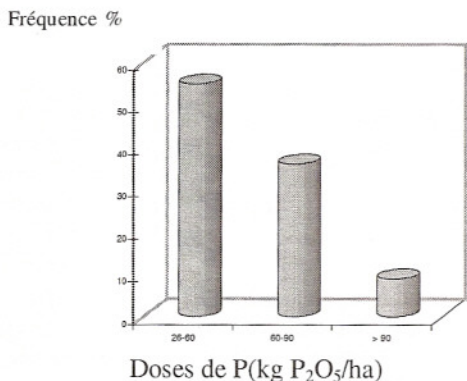
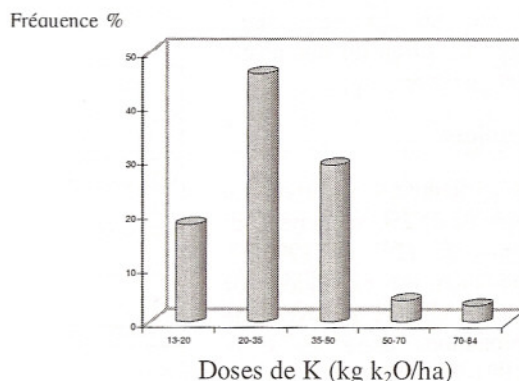


Figure 2. Doses de K apportées au blé par les agriculteurs enquêtés



Parmi les agriculteurs ayant opté pour un seul apport, 47% ont épandu l'engrais de couverture entre début et mi-tallage, près de 30% des cas ont réalisé cet apport en fin tallage. Le reste (23%) a réalisé cet apport à la mi-montaison, tous ces agriculteurs justifient cet apport tardif par l'inaccessibilité aux parcelles à cause des pluies. Près de 71% de ceux qui ont apporté l'azote en 2 étapes ont réalisé le premier apport en début tallage du blé, alors que le deuxième épandage a été réalisé dans 55% des cas à la fin du tallage. D'autres, 44% des cas, ont procédé au deuxième apport à la mi-montaison. Le reste (24 %), n'ont procédé au deuxième apport qu'à la fin de la montaison. Dans le cas de trois apports, le premier et le second épandages ont été réalisés au cours du tallage, alors que le troisième est appliqué à la mi montaison. La plupart des agriculteurs ayant procédé au fractionnement de l'apport d'azote de couverture (67%) possèdent des exploitations dont la taille est moyenne à grande (SAU > 5 ha). L'indicateur utilisé est l'état de la végétation en relation avec le régime hydrique.

EVOLUTION DE LA CONDUITE DE LA FERTILISATION DU BLE AU TADLA

L'évolution qu'a connue la conduite des céréales dans le périmètre irrigué du Tadla entre les deux campagnes agricoles 1991-92 et 1996-97 constitue un outil pertinent de l'évaluation de l'adoption de nouvelles techniques et donc du transfert de l'information scientifique aux agriculteurs. Dans le souci d'une meilleure fiabilité des résultats, nous avons travaillé uniquement sur les 55 agriculteurs communs à l'échantillon du diagnostic de 1991-92 et au nôtre.

Fumure organique

La part des agriculteurs apportant du fumier a augmenté de 2%, seulement, en 1991-92 à près de 12% en 1996-97. Cette augmentation est expliquée par l'augmentation du cheptel au niveau de ces 55 exploitations entre les deux campagnes 1991-92 et 1996-97.

Fertilisation phospho-potassique

La part des agriculteurs utilisant le 14-28-14 a augmenté de 40% à 70% au dépend de l'utilisation de la formule 13-26-13. La régression de l'utilisation du 13-26-13 est expliquée par l'existence d'une autre formule plus adaptée pour la betterave. Près de 6% des agriculteurs ont apporté l'ammonitrate au semis avec le 26.3-21.4. Il faut signaler que, la part des agriculteurs qui n'ont pas apporté d'engrais de fond a augmenté de 10 à 18%. La dose moyenne de P apportée par les agriculteurs a diminué de 48 kg de P_2O_5 /ha en 1991- 92 à 34 kg de P_2O_5 /ha en 1996- 97. La proportion des agriculteurs utilisant des doses de P supérieures à 80 kg de P_2O_5 /ha a régressé de 18% à 11%, tandis que celle des agriculteurs qui n'ont pas effectué un apport phosphaté a augmenté de 18% à 35% (Figure 5). La part des agriculteurs apportant une dose de P entre 13 et 60 Kg de P_2O_5 /ha a diminué de 50% à 42%.

Comme pour le P, La dose moyenne de K apportée par les agriculteurs a diminué de 34 kg de K_2O /ha en 1991- 92 à 22 kg de K_2O /ha en 1996- 97. La majorité des agriculteurs ont tendance à réduire les apports en K. En effet, la part des agriculteurs qui n'ont pas appliqué un apport potassique a augmenté de 12% à 32% (Figure 6). Parallèlement à ceci la proportion des agriculteurs appliquant une dose entre 40 et 70 kg de K_2O /ha a diminué de 22% à 17%.

Cette tendance à la baisse des quantités d'engrais peut être expliquée par l'augmentation du prix de vente des engrais de fond et par la prise en considération par les agriculteurs de la richesse initiale du sol en P et K.

Fertilisation azotée

La même tendance de la répartition des agriculteurs selon l'utilisation des différentes formes d'engrais de couverture est observée pour les deux campagnes 1991-92 et 1996-97. Cependant, la part des agriculteurs qui n'ont pas apporté un engrais de couverture a augmenté de 4% à près de 10%. Ceci est expliqué par l'augmentation du prix de vente des engrais (prix de l'urée est passé de 190 dh/ql en 1991 à 300 dh/ql en 1996). L'utilisation de l'ammonitrate a augmenté de 18% à 24%, au dépend de l'utilisation de l'urée. La distribution de fréquence des agriculteurs selon les quantités totales d'azote apporté, a montré que la part des agriculteurs utilisant une dose totale d'azote entre 60 et 120 kg N/ha a augmenté de 35% à 58% (Figures 7 et 8).

Il en est de même pour la part des agriculteurs appliquant une dose entre 20 et 60 kg N/ha qui a augmenté de 7% à 18%. Par contre, la proportion des agriculteurs appliquant une dose totale d'azote entre 120 et 180 kg N/ha a diminué de moitié, de 37% à 18%. Dans le même sens la part des agriculteurs utilisant une dose totale supérieure à 180 Kg N/ha a diminué de 10% en 1991-92 à 4% en 1996-97. Les agriculteurs ont tendance à réduire les apports d'azote ; la dose totale moyenne de l'azote apporté a diminué de 124 kg N/ha à 102 kg N/ha . Cette réduction de l'apport d'azote est expliquée d'une part par l'augmentation des prix des engrais et d'autre part par le raisonnement des agriculteurs de plus en plus en terme de rendement économique.

	Nbre de cas	Min.	Max.	Moyenne	E.T	CV%
N au semis	75	13	84	34	12	35
N de couv.	91	21	239	75	46	62
N total	98	13	260	99	52	52
P (P_2O_5)	74	26	140	64	28	43
K (K_2O)	73	13	84	34	14	45

Tableau 2. Quantités d'éléments fertilisants (kg/ha) apportées au blé par les agriculteurs enquêtés.

Figure 3. Doses totales de N apportées au blé par les agriculteurs enquêtés

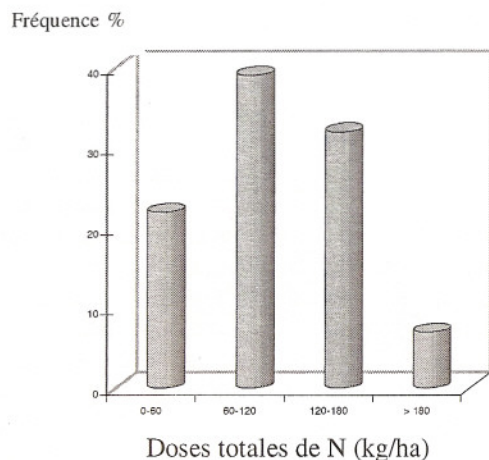
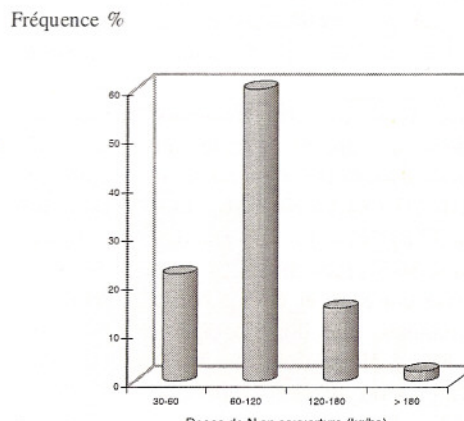


Figure 4. Doses de N apportées en couverture au blé par les agriculteurs enquêtés



Doses de N apportées en couverture au blé par les agriculteurs enquêtés.

LES RECOMMANDATIONS DES VULGARISATEURS

Fertilisation phospho-potassique

Les vulgarisateurs de l'ORMVA de Tadla, recommandent trois formes différentes d'apport. La majorité des vulgarisateurs (73%) recommandent le 14-28-14 et 22% des cas recommandent le sulfate d'ammonium au semis sans apport de P et K. Le reste, soit 5%, recommandent le 26.3-23.4-0. La recommandation du 14-28-14 est justifiée par le fait que c'est un engrais ternaire par conséquent il n'y aura pas des risques de déficience. Mais les proportions des trois éléments (N, P et K) ne sont pas adaptées ni au type des sols ni au besoin des blés. La recommandation de la forme 26.3-23.4-0 qui est plutôt recommandée pour la betterave, est justifiée par le fait que les sols de Tadla sont assez riches en K. Les vulgarisateurs recommandant le sulfate d'ammonium au semis, se sont basés sur les résultats des analyses de sol effectuées par l'Office et par les sucreries.

La dose de P recommandée varie de 0 à 80 kg de P_2O_5 /ha avec une moyenne de 45 kg de P_2O_5 /ha. Près de 24% des vulgarisateurs enquêtés ne recommandent pas un apport de P.

La grande partie des vulgarisateurs (57%) recommandent des doses de P entre 35 et 70 Kg de P_2O_5 /ha, environ 24%, recommandent de 14 à 35 kg de P_2O_5 /ha. Le reste, soit 18% des vulgarisateurs, recommandent une dose entre 70 et 84 kg P_2O_5 /ha.

Les quantités de K recommandées dans la zone d'action du périmètre du Tadla, ont varié de 0 à 60 kg K_2O /ha avec une moyenne de 37 kg K_2O /ha. Près de 28% des vulgarisateurs ne recommandent pas un apport de K et 28% autres recommandent des quantités comprises entre 14 et 30 kg K_2O /ha. Le reste, soit 44% des vulgarisateurs, conseillent des doses comprises entre 30 et 60 kg K_2O /ha.

Fertilisation azotée

La majorité des vulgarisateurs enquêtés (56%) recommandent une combinaison de l'urée et de l'ammonitrate.

Près de 39 % des vulgarisateurs recommandent un apport de couverture sous forme d'ammonitrate et les 16% restant conseillent l'urée. Pour ce faire, les vulgarisateurs utilisent les arguments des agriculteurs : l'ammonitrate est recommandé pour les premiers apports du fait que les besoins de la culture augmentent progressivement et l'urée est recommandé pour le deuxième apport

parce que l'absorption du blé est plus importante et la réponse de la culture à l'urée est très appréciée par les agriculteurs. En fait, il s'agit tout simplement d'une richesse plus grande de l'urée, 46 unités fertilisantes par quintal contre seulement 33.5 pour l'ammonitrate. Ceci n'est pas pris en considération par les agriculteurs - et est repris par les vulgarisateurs - qui raisonnent en termes de sac ou de quintal plutôt qu'en termes d'unité fertilisante. Les quantités d'azote recommandées par les vulgarisateurs du Tadla sont élevées, elles varient entre 100 et 240 kg N/ha. La moyenne est de 150 kg/ha et l'écart type est de 35kg N/ha. La distribution des vulgarisateurs selon les doses d'azote recommandées fait ressortir que:

- 16% des vulgarisateurs conseillent une dose entre 100 et 120 kg N/ha;
- 74% des vulgarisateurs recommandent une dose entre 120 et 200 kg N/ha (160 kg N/ha \pm 40) avec 43% de 120 à 160 kg N/ha et 31% de 160 à 200 kg N/ha;
- 10% des vulgarisateurs recommandent une dose entre 200 et 240 kg N/ha.

Les doses les plus élevées sont recommandées par les vulgarisateurs les plus anciens qui se contentent de leur propre expérience. Ils recommandent de maximiser l'utilisation de l'ensemble des facteurs de production pour assurer

un bon rendement à l'agriculteur à tout prix. Un 2^{ème} groupe est constitué de vulgarisateurs plus raisonnables qui recommandent une dose autour de 160 kg N/ha. Ils sont plus méticuleux et plus à la recherche de l'information scientifique.

Par ailleurs, tous les vulgarisateurs recommandent un apport d'azote au semis. La dose d'azote recommandée au semis varie de 20 à 84 kg N/ha avec une moyenne de 37 kg N/ha. La majorité des vulgarisateurs, 86 %, recommandent une dose comprise entre 20 et 60 kg N/ha, 9% recommandent une dose comprise entre 60 et 80 kg N/ha, alors que 4.5% conseillent un apport au semis supérieur à 80 kg N/ha. Cependant, la majeure partie des quantités recommandées de N est conseillée en apport de couverture en deux à trois applications. Les quantités recommandées en couverture varient entre 80 et 160 kg N/ha avec une moyenne de 120 kg N/ha. Près de 35% des vulgarisateurs enquêtés recommandent des quantités entre 100 et 120 kg N/ha et 45% des cas recommandent des doses entre 120 et 160 kg N/ha. Le reste, soit 20% des cas, recommandent des quantités comprises entre 80 et 100 kg N/ha. La quasi-totalité des vulgarisateurs du Tadla conseillent un épandage de l'azote de couverture en deux apports (1/2, 1/2). Le reste (14%) recommandent un apport fractionné en trois applications (1/3, 1/3, 1/3).

Parmi les vulgarisateurs recommandant deux apports, 47% conseillent le premier apport au début du tallage. Une part de 47% recommande le premier apport à la mi-tallage alors que le reste (6%) le conseillent en fin tallage. La majorité des vulgarisateurs, soit 95%, recommandent le 2^{ème} apport au cours de la montaison.

Dans le cas de trois apports, le premier est conseillé au cours du tallage (67% au début tallage, 33% à la mi-tallage). Le deuxième est recommandé au cours de la montaison (33% début montaison et 66% en mi-montaison). Alors que le troisième apport est recommandé à la fin de la montaison dans 33.5% des cas, et 33% recommandent le troisième apport au gonflement, les 33.5% restant, ont recommandé le troisième apport à l'épiaison.

COMPARAISON DES PRATIQUES DES AGRICULTEURS ET DES RECOMMANDATIONS DES VULGARISATEURS AVEC LA CONDUITE OPTIMALE

Les pratiques des agriculteurs et les recommandations des vulgarisateurs en matière de conduite de la fertilisation du blé dans le périmètre irrigué du Tadla sont comparées ici à la conduite optimale définie sur la base des travaux de recherche conduits dans la région.

L'analyse de la conformité de la pratique des agriculteurs ou des recommandations des vulgarisateurs aux résultats de la recherche a été réalisée grâce à un test de conformité basé sur le principe des scores.

- Un score de 5 correspond aux pratiques de l'agriculteur (ou aux recommandation du vulgarisateur) très proches de l'itinéraire technique optimum ;
- Un score de 3 est attribué si la pratique de l'agriculteur, ou la recommandation du vulgarisateur est plus ou moins proche de l'itinéraire technique optimum et
- Un score de 1 correspond à une pratique de l'agriculteur, ou une recommandation du vulgarisateur différente de la recommandation de la recherche.

Cas des vulgarisateurs

Seule une proportion limitée des vulgarisateurs enquêtés (29%) recommande une fertilisation qui est celle qui résulte des travaux de recherche. Environ 14% des vulgarisateurs ont des recommandations moyennement conformes à la conduite optimale; la différence entre leurs recommandations et la conduite optimale de la fertilisation réside surtout au niveau de la dose et du fractionnement. Cependant, près de 57% sont classés comme non conformes aux résultats de la recherche, du fait qu'ils recommandent des doses plus élevées.

Figure 5. Evolution des doses de P apportées au blé par les agriculteurs enquêtés entre les campagnes 1991-92 et 1996-97

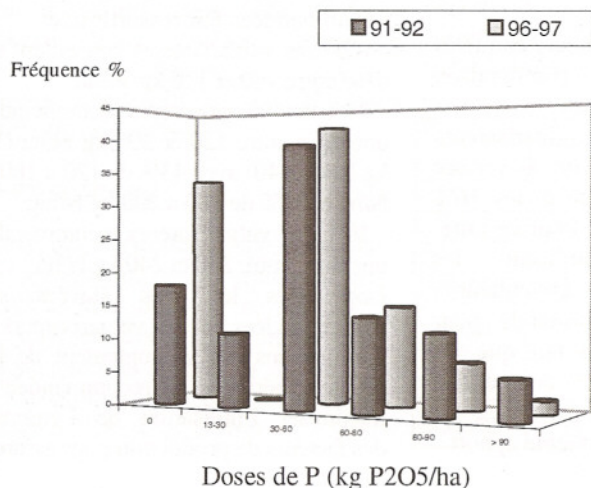


Figure 6. Evolution des doses de K apportées au blé par les agriculteurs enquêtés entre les campagnes 1991-92 et 1996-97

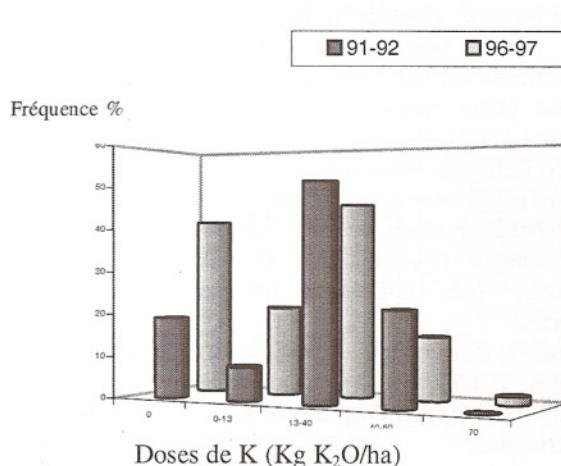


Figure 7. Evolution des doses totales de N apportées au blé par les agriculteurs enquêtés entre les campagnes 1991-92 et 1996-97

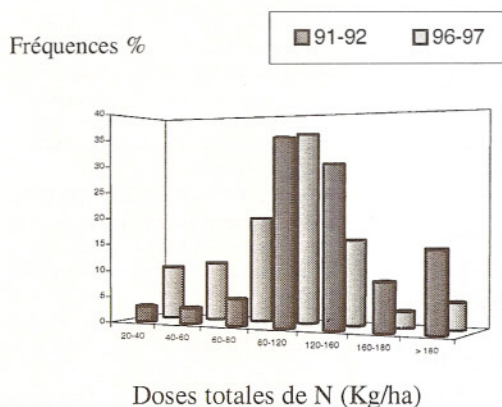
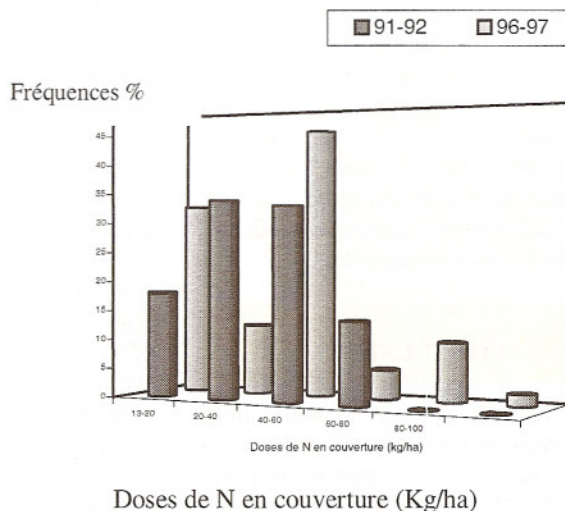


Figure 8. Evolution des doses de N apportées en couverture au blé par les agriculteurs enquêtés entre les campagnes 1991-92 et 1996-97



Autrement dit, plus de la moitié des vulgarisateurs ne semblent pas avoir pris connaissance des résultats de la recherche en matière de fertilisation du blé. Ce qui introduit un biais et compromet d'ores et déjà tout transfert de technologies et tout progrès en matière de conduite du blé en irrigué au Tadla.

Cas des agriculteurs

Les scores observés pour les 103 agriculteurs enquêtés pour la conduite de la fertilisation, montre que notre échantillon se répartit en trois classes.

- La première classe, la plus étoffée malheureusement, comporte les agriculteurs non conformes aux recommandations de la recherche. En effet, près de 63% des agriculteurs de notre échantillon pratiquent une fertilisation très différente de celle proposée par les travaux de recherche, les doses sont très inférieures à 160 kg N/ha et l'apport se fait en une seule fois au cours de tout le cycle de développement de la culture.

- La deuxième classe regroupe près de 34% des agriculteurs de notre échantillon, ce sont les agriculteurs pratiquant une fertilisation qui est relativement plus proche aux recommandations de la recherche que celle pratiquée au niveau de la première classe. La différence remarquée entre la

conduite de la fertilisation par ces agriculteurs et la conduite optimale est notée surtout au niveau de la dose appliquée alors que le fractionnement ainsi que les formes sont similaires.

- La troisième classe, celle des agriculteurs dont les pratiques sont vraiment conformes aux résultats de la recherche, ne comporte que 3% de l'échantillon étudié; la différence entre la conduite de la fertilisation par ces agriculteurs et la conduite optimale est négligeable.

La fertilisation avec le désherbage, le traitement contre les maladies et l'irrigation se sont avérés les techniques qui présentent le plus d'écart par rapport au référentiel pour la majorité des agriculteurs.

Dans le but d'expliquer l'écart entre les pratiques des agriculteurs et les résultats de la recherche, d'une part, et entre les pratiques des agriculteurs et les recommandations des vulgarisateurs, d'autre part, nous avons analysé le comportement des agriculteurs vis à vis de la vulgarisation. Nous avons dégagé l'existence de deux groupes d'agriculteurs selon leur degré de réceptivité et d'adoption des innovations.

Le premier est représenté par 59% de notre échantillon et près de 79% des agriculteurs de ce groupe apportent des

doses d'engrais inférieures à celles recommandées par les vulgarisateurs.

Ceci est expliqué par l'incapacité financière de ces agriculteurs à suivre les recommandations. Ces agriculteurs affirment que les recommandations techniques des vulgarisateurs ne répondent pas à leurs besoins surtout que leurs possibilités d'investissement sont très limités. Près de 87% de ces agriculteurs sont qualifiés de non réceptifs du fait qu'ils n'assistent jamais aux séances de démonstration organisées par les services de vulgarisation. Ils justifient ce refus par le fait que ces séances ne sont destinées qu'aux grands agriculteurs, ils ont une image négative du vulgarisateur, qui selon eux, ne résout jamais de problèmes.

Le deuxième groupe est composé de 41% des agriculteurs enquêtés, au sein de ce groupe nous avons pu distinguer deux sous-groupes. Le premier sous-groupe est représenté par 16% de notre échantillon, ils sont tous encadrés par la méthode de vulgarisation contractuelle et par conséquent ils adoptent la conduite de la fertilisation recommandée par les vulgarisateurs étant donné la nature du contrat entre les 2 parties (agriculteur - vulgarisateur). Nous pouvons retenir dans ce cas, un taux d'adoption de 100%. Le deuxième sous-groupe comporte 25% de notre échantillon d'étude. Les agriculteurs de ce groupe assistent aux séances de vulgarisation et ils réalisent des contacts individuels avec les vulgarisateurs. C'est

le groupe le plus conscient de l'intérêt de la vulgarisation et le plus apte à adopter les innovations techniques. Cependant, le taux d'adoption des innovations reste assez faible par rapport au premier sous-groupe. En matière de conduite de la fertilisation près de 57% de ces agriculteurs adoptent les recommandations des vulgarisateurs concernant les formes et le fractionnement alors que seulement 43% parmi eux adoptent toutes les modalités de fertilisation recommandées.

CONCLUSIONS

A la lumière de ces résultats, nous constatons une tendance notable à la baisse des doses d'engrais utilisées entre 91-92 et 96-97. Cette variation peut être expliquée par l'augmentation du prix de vente des engrais, par la prise en considération par les agriculteurs de la richesse initiale du sol en P et en K et par le raisonnement des agriculteurs de

plus en plus en terme de rendement économique suite à leur encadrement Plus de la moitié des vulgarisateurs (57%) ne semblent pas avoir pris connaissance des résultats de la recherche en matière de fertilisation du blé. Ce qui introduit un biais et compromet d'ores et déjà tout transfert de technologies et tout progrès en matière de conduite du blé en irrigué au Tadla. Il faut souligner, cependant, que d'une façon générale, les recommandations des vulgarisateurs sont plus proches du référentiel que les pratiques des agriculteurs. Seulement 41% des agriculteurs de notre échantillon sont impliqués et sont partie prenante dans le processus de transfert de l'information du fait du ratio d'encadrement faible, des moyens limités et de la non réceptivité de certains agriculteurs. Le taux d'adoption moyen est de 64% au niveau de ce groupe, mais le taux d'adoption global au niveau de notre échantillon est seulement de 26%.

REFERENCES

- Anonyme.** 1985. Soil Improvement Committee, California Fertilizer Association, Western Fertilizer Handbook. The Interstate printers and publishers, Inc.
- Ait Hmida, A.** 1989. Vulgarisation et transformation des pratiques des agriculteurs. Le cas de la zone d'action du C.T pilote de Benslimane. DSH, IAV Hassan II, Rabat.
- Bekkali, L.** 1993. Savoir paysan et le développement, cas des pratiques agricoles au Douar Chahda (Plaine d'Abda). Mémoire de 3^{ème} cycle de l'ENA de Meknes.
- M.A.M.V.A - D.V.A,** 1996. Programme National de transfert de technologie en agriculture compagne agricole 95-96. Bulletin de transfert de technologie en agriculture, N° 16.
- M.A.M.V.A - D.V.A,** 1988. Rapport du plan directeur de la vulgarisation. Volume II: Orientations et stratégies de la vulgarisation agricole.
- Mosseddaq, F. et El Majnaoui, M.** 1993. Etude socio-économique des exploitations agricoles, contraintes à la production céréalière. Tome1: Cas du Tadla. Projet amélioration de la production céréalière en irrigué. Rannort. IAV Hassan. Rabat.
- Mosseddaq, F., Moughli, L. et Ghot, S.** 1993. connaissances des potentialités du milieu. Contraintes liées au climat et aux types de sol, Vol (I). Projet amélioration de la production céréalière en irrigué. Rapport. IAV Hassan II. Rabat.
- Mosseddaq, F. et Rami, E.** 1994 : Etude des exploitations et suivi de parcelles. Etude Agronomique des contraintes à la production céréalière cas du Tadla, Tome 2. Projet amélioration de la production céréalière en irrigué. Rapport. IAV Hassan II. Rabat.
- Mosseddaq, F.** 1996. Projet amélioration de la production céréalière en irrigué. Vol. V Rapport de synthèse. IAV Hassan, Rabat.
- Moughli, L.** 1990. Phosphorus soil test calibrations for wheat on Moroccan soils. Ph D Discertation, Department of Agronomy, Colorado State University.
- Mosseddaq, F. et L. Moughli.** 1999. Fertilisation azotée des céréales, cas des blés en bour et en irrigué. Bulletin de transfert de technologie en agriculture, N° 62.
- ORMVAT.** 1995. Diagnostic des besoins en formation pour les conseillers agricoles. Doc. SVOP.
- ORMVAT- SVOP.** 1996. Plan d'action de l'ORMVAT.