MINISTERE D'ETAT CHARGE
DE L'EDUCATION NATIONALE

REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple - Un But - Une Fo

DIRECTION NATIONALE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE DE MEDECINE
ET DE PHARMACIE

ANNEE 1991-1992

N° ...10.....

UTILISATION DES ENGRAIS AZOTES DANS LES SOLS MARAICHERS DU DISTRICT DE BAMAKO : IMPACT SUR LE RENDEMENT CULTURAL ET SUR LA SANTE HUMAINE.

THESE

présentée et soutenue publiquement devant l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie

le ..... 1993 à ..... heures

Par M. PORNON YAFOLO BAMBA

pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie
DIPLOME D'ETAT

JURY :

PRESIDENT : PROFESSEUR BOUBACAR SIDIKI CISSE
MEMBRES : PROFESSEUR SIDI YAYA SIMAGA
PROFESSEUR GAOUSSOU KANOUTE
(DIRECTEUR DE THESE)
M. MAMADOU KAROUNGA KEITA
M. MODIBO DIARRA

ECOLE NATIONALE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DU MALI
ANNEE UNIVERSITAIRE 1992-1993

LISTE DES PROFESSEURS

Professeur	ISSA TRAORE	Doyen
Professeur	BOUBACAR S.CISSE	Premier Assesseur
Professeur	Amadou DOLO	Deuxième Assesseur
Docteur	Bernard CHANFREAU	Conseiller technique
Docteur	Bakary M.CISSE	Secrétaire Général

D.E.R.CHIRURGIE ET SPECIALITES CHIRURGICALES

1. PROFESSEURS AGRGES

Pr Abdel Karim KOUMARE	Chef D E R de Chirurgie
Pr Mamadou Lamine TRAORE	Chirurgie Génerale
Pr Aloiu BA	Ophtalmologie
Pr Bocar SALL	Ortho.Traumat.Sécourisme
Pr Sambou SOUMARE	Chirurgie Générale
Pr Abdou Alassane TOURE	Ortho-Traumato
Pr Amadou DOLO	Gynéco-Obstétrique
Pr Djibril SANGARE	Chirurgie Générale

2. ASSISTANTS CHEFS DE CLINIQUE

Dr Madame SY Aida SOW	Gynéco-Obstétrique
Dr Kalilou OUATTARA	Urologie
Dr Mamadou L. DIOMBANA	Odonto-Stomatologie
Dr Salif Diakité	Gynéco-Obstétrique
Dr Abdoulaye DIALLO	Ophtalmologie
Dr Alhousséini Ag MOHAMED	O.R.L.
Dr Mme DIANE F.S. DIABATE	Gynéco-Obstétrique
Dr Abdoulaye DIALLO	Anesth.-Réanimation
Dr Sidi Yaya TOURE	Anesth.-Réanimation
Dr Gangaly DIALLO	Chirurgie Générale
Dr Sékou SIDIBE	Ortho.Traumatologie
Dr A.K.TRAORE DIT DIOP	Chirurgie Génerale

D.E.R. DE SCIENCES FONDAMENTALES

1. PROFESSEURS AGREGES

Pr Bréhima KOUMARE	Microbiologie
Pr Siné BAYO	Anatomie-Path.
Pr Gaoussou KANOUTE	Chimie analytique
Pr Yaya FOFANA	Hématologie
Pr Ogobara DOUMBO	Parasitologie

2. DOCTEURS D'ETAT

Pr Yéya Tiémoko TOURE	Biologie
Pr Amadou DIALLO	Biologie Chef D E R Sc.Fond.
Pr Yéniméguè A.DEMBELE	Chimie Organique

3. DOCTEURS 3°CYCLE

DR Moussa HARAMA	Chimie organique
DR Massa SANOGO	Chimie analytique
DR Bakary M. CISSE	Biochimie
DR Mahamadou CISSE	Biologie
DR Sekou F.M.TRAORE	Entomologie médicale
DR Abdoulaye DABO	Malacologie,Biologie Animale
DR N'yenigue S.KOITA	Chimie organique

4. ASSISTANTS CHEFS DE CLINIQUE

Dr Abderhamane S. MAIGA	Parasitologie
Dr Anatole TOUNKARA	Immunologie
Dr Amadou TOURE	Histo-Embryologie

5. MAITRES ASSISTANTS

Dr Abdrahamane TOUNKARA	Biochimie
Dr Flabou BOUGOUDOGO	Bactériologie

D.E.R.DE MEDECINE ET SPECIALITES MEDICALES

1. PROFESSEURS AGREGES

Pr Abdoulaye Ag RHALY	Med.Int. Chef D E R MEDECINE
Pr Souleymane SANGARE	Pneumo-phtisiologie
Pr Aly GUINDO	Gastro-Enterologie
Pr Mamadou K. TOURE	Cardiologie
Pr Mahamane MAIGA	Néphrologie
Pr Ali Nouhoum DIALLO	Médecine Interne
Pr Baba KOUMARE	Psychiatrie
Pr Moussa TRAORE	Neurologie
Pr Issa TRAORE	Radiologie
Pr Mamamdou M. KEITA	Pédiatrie
Pr Eric PICHARD	Médecine Interne
Pr Toumani SIDIBE	Pédiatrie

2. ASSISTANTS CHEFS DE CLINIQUE

Dr Abdel Kader TRAORE	Med.Interne
Dr Moussa Y.MAIGA	Gastroenterologie
Dr Balla COULIBAMY	Pédiatrie
Dr Boubacar DIALLO	Cardiologie
Dr Dapa Ali DIALLO	Hémato-Médec.Interne
Dr Somita KEITA	Dermato-Leprologie
Dr Bah KEITA	Pneumo-Phtisiologie
Dr Hamar A. TRAORE	Medecine Interne

D E R de SCIENCES PHARMACEUTIQUES

1.PROFESSEURS AGREGES

Pr Boubacar CISSE	Toxicologie
Pr Arouna KEITA	Matière Médicale

2. MAITRES ASSISTANTS

Dr Boulkassoum HAIDARA	Législ. Gest. Pharm.

Dr Elimane MARIKO	Pharmacodynamie
Dr Ousmane DOUMBIA	Pharm.Chim Chef D E R SCES PHARM.
Dr Drissa DIALLO	Matières Médicales

D.E.R. DE SANTE PUBLIQUE

1. PROFESSEURS AGREGES

Pr Sidi Yaya SIMAGA	Santé Publique (chef D.E.R.)
Pr Moussa A.MAIGA	Santé Publique
Dr Hubert BALIQUE	Maitre de conf. Santé Pub.

2. ASSISTANTS CHEFS DE CLINIQUE

Dr Bernard CHANFREAU	Santé Publique
Dr Jean Michel	Santé Publique
Dr Bocar G.TOURE	Santé Publique
Dr Sory I.KABA	Santé Publique
Dr Sanoussi KONATE	Santé Publique

CHARGES DE COURS

Dr Mme CISSE A.GAKOU	Galénique
Pr N'Golo DIARRA	Botanique
Pr Bouba DIARRA	Bactériologie
Pr Salikou SANOGO	Physique
Pr Daouda DIALLO	Chimie Générale et Min.
Pr Bakary I.SACKO	Biochimie
Pr Yoro DIAKITE	Maths
Pr Sidiki DIABATE	Bibliographie
Dr Aliou KEITA	Galénique
Dr Boubacar KANTE	Galénique
Dr Souléymane GUINDO	Gestion
Dr Mrs Sira DEMBELE	Maths
Mr Modibo DIARRA	Nutrition
Mrs MAIGA Ftoumata SOKONA	Hygiène du Milieu

ASSISTANTS

Dr Nouhoum ONGOIBA	Chirurgie
Dr Saharé FONGORO	Nephrologie
Dr Bakoroba COULIBALY	Psychiatrie
Dr Bénoit KOUMARE	Chimie Analytique
Dr Ababacar I.MAIGA	Toxicologie
Dr Mamadou DEMBELE	Medecine Interne
Dr Sadio YENA	Chirurgie Générale
Dr Ibrahim ALWATA	Ortho-traumatologie
Dr Adama D.KEITA	Radiologie
Dr Tatiana KEITA	Pédiatrie
Dr Massambou SACKO	Santé Publique

C E S

Dr Georges YAYA (RCA)	Ophtalmologie
Dr Abdou ISSA (NIGER)	Ophtalmologie
Dr Amadou DIALLO (Sénégal)	Ophtalmologie
Dr Askia Mohamed (NIGER)	Ophtalmologie
Dr Oumar BORE	Ophtalmologie
Dr N'DJIKAM Jonas (CAMEROUN)	Ophtalmologie

Dr DEZOUMBE Djoro (TCHAD)	Ophtalmologie
Dr Aboubacrine A.MAIGA	Santé publique
Dr Dababou SIMPARA	Chirurgie Générale
Dr Mahamane TRAORE	Chirurgie Générale
Dr Mohamed Ag BENDECH	Santé Publique
Dr Mamadou MAIGA	Dermatologie
Dr Tongo DOUMBIA	Chirurgie Gle
Dr Salimata KONATE	Ophtalmologie
Dr Lamine TRAORE	Ophtalmologie
Dr Ousmane C.FAYE	Dermatologie
Dr Mme N'DIAYE Hawa THIAM	Dermatologie
Dr Idrissa A.CISSE	Dermatologie
Dr Akory Ag IKNANE	Santé Publique
Dr Hamadoun SANGHO	Santé Publique
Dr Mahamadou MAIGA	Santé Publique
Dr Adama DIAWARA	Santé Publique
Dr Mahamadou THERA	Santé Publique

PROFESSEURS MISSIONNAIRES

Pr P.HAVLCK	Biophysique
Pr F.ROUX	Biophysique
Pr G.FARNARIER	Physiologie
Pr G.GRAS	Hydrologie
Pr E.A.YAPO	Biochimie
Pr Babacar FAYE	Pharmacodynamie
Pr Mamadou BADIANE	Pharmacie Chimique
Pr Issa LO	Législation

PERSONNELS RESSOURCES

Docteur Madani TOURE	H.G.T.
Docteur Tahirou BA	H.G.T.
Docteur Amadou MARIKO	H.G.T.
Docteur Badi KEITA	H.G.T.
Docteur Antoine NIANTAO	H.G.T.
Docteur Kassim SANOGO	H.G.T.
Docteur Yéya I.MAIGA	I.N.R.S.P.
Docteur Chompere KONE	I.N.R.S.P.
Docteur BA Marie P.DIALLO	I.N.R.S.P.
Docteur Almahdy DICKO	P.M.I.SOGONINKO
Docteur Mohamed TRAORE	KATI
Docteur Arkia DIALLO	P.M.I.CENTRALE
Docteur Reznikoff	IOTA
Docteur TRAORE J.THOMAS	IOTA
Docteur P.BOBIN	I.MARCHOUX
Docteur A.DELAYE	H.P.G.
Docteur N'DIAYE F. N'DIAYE	IOTA
Docteur Hamidou B.SACKO	HGT

D E D I C A C E S

Je dédie ce travail

à mon père que la mort m'a arraché si tôt. Du fond de ta tombe continues à m'assister pour affronter les obstacles qui encombrent ma réussite. Tu continues a vivre eternellement dans mon coeur. Paix à ton âme ;

et

à ma mère à qui je dois tout. Tu as tant souffert pour moi.

Par les grands sacrifices que vous n'avez jamais cessé d'entreprendre pour moi, par vos conseils et l'éducation morale que vous m'avez prodigué.

A tous mes frères et soeurs, cousins et cousines,
A mes oncles Zié Yacouba KONE et M'Bê Yaya BAMBA,
vous avez été pour moi ce que est un toit pour un grenier. Trouvez ici l'expression de mes remerciements et de mes sincères reconnaissances.

R E M E R C I E M E N T S

Aux familles :
BAMBA à Misseni, Sikasso et Bamako
OUATTARA à Kadiolo
TRAORE et SYLLA à Bamako
puisse Dieu assurer la continuité de nos relations humaines existantes. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude.

A Monsieur Tiéba BAMBA et famille à Abidjan
A Monsieur Adama BAMBA et famille à Yamoussokro
Mes sincères remerciements pour les soutiens moral et matériel dont j'ai bénéficiés.

A tous les tavailleurs des laboratoires de :
chimie de l'ENMP,
Zootechnique et de la SRCVO à Sotuba,
contrôle à l'usine BRAMALI.

A tous les bibliothécaires de l'IER, l'ENMP, l'ENSUP, la FAO, l'OMS

Votre sincère collaboration et votre sympathie ne m'ont pas fait défaut.

A Mme DIALLO Aminata KANTE pharmacienne à l'officine Carretour Lafiabougou et tout son personnel. Merci pour votre collaboration et votre sympathie.

A Mme COULIBALY Sira SIMAGA pharmacienne à l'officine Bankoni. Trouvez ici l'expression de mes sincères remerciements.

A Mlle Fatou COULIBALY, merci pour votre disponibilité et votre sympathie pour la réalisation de ce travail.

A Monsieur Arona COULIBALY Professeur à l'ENI au laboratoire thermique. Jamais je ne saurais vous oublier. Merci pour votre disponibilité constante, votre sympathie,votre sincère collaboration et des conseils dont j'ai bénéficiés.

A Messieurs Lassina SYLLA, Seydou SYLLA et Abdoul Salam SYLLA. Que Dieu puisse assurer notre sincère et franche amitié éternellement.

A Monsieur Fagnan SANOGO au laboratoire de la DMT, merci pour les services que vous m'avez rendus.

A Monsieur Tidiane DIABATE et famille à Sikasso. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude.

A tous les pharmaciens et médécins, tous mes amis et amies, tous mes camarades de promotion.

A tout le corps enseignant et le personnel administratif de l'ENMP.

Aux membres de l'AMPERCKS. Sachez que l'entente et l'unité sont la base de tout progrès dans une société.

A tous les jardiniers qui ont bien voulu nous accorder la permission de l'échantillonnage de leurs jardins et légumes.

A Messieurs Fatogoma KONE, Nampaga COULIBALY, Tiambaga KONE et Mingoro SANOGO. Veuillez recevoir mes sincères remerciements amicaux.

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont accorder leur soutien moral et matériel. Que les uns et les autres trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

S O M M A I R E

INTRODUCTION..... 1

PRESENTATION DE LA STATION DE RECHERCHE SUR LES CULTURES VIVRIÈRES ET OLEAGINEUSES (S.R.C.V.O)..... 3

PREMIÈRE PARTIE : GENERALITES..... 4

CHAPITRE I : NOTION PEDOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES..... 5
A. LE SOL..... 5
I. Définition et rôle du sol..... 5
II. Composition chimique du sol..... 5
II.1. Fertilité..... 5
II.2. Composition..... 6
III. Texture du sol..... 6
B. LES ENGRAIS..... 6
I. Définition et rôle..... 7
I.1. Définition..... 7
I.2. Rôle..... 7
II. Différents types d'engrais..... 7
II.1. Les engrais azotés..... 8
II.1.1. Les engrais nitriques..... 8
II.1.2. Les engrais ammoniacaux..... 8
II.1.3. Les ammonitrates..... 9
II.1.4. Les amides..... 9
II.1.5. L'urée..... 9
II.2. La fumure organique..... 10
II.2.1. Les déchets urbains..... 10
II.2.2. Le fumier de ferme..... 10
III. Quelques engrais chimiques utilisés au Mali..... 10
III.1. Les engrais azotés..... 10
III.2. Les engrais potassiques..... 11
III.3. Les engrais chaux, chaullage..... 11
III.4. Engrais contenant du magnésium..... 11
IV. Comparaison entre fumures organiques et fumures chimiques..... 11
IV.1. Fumures organiques..... 11
IV.2. Fumures chimiques..... 12
V. Evolution des engrais azotés dans le sol..... 12
V.1. Evolution des engrais azotés nitriques..... 12
V.2. Evolution des engrais azotés organiques cyanamides et uréiques..... 13
V.3. Evolution des engrais ammoniacaux..... 13
C. NOTIONS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE..... 14
I. Absorption des éléments fertilisants par les plantes..... 14
II. Nutrition des plantes et qualité des produits..... 16
II.1. Facteurs internes et externes..... 16
II.2. Fertilité azotée..... 16
II.3. Autres éléments..... 16

CHAPITRE II : ETUDE DES LEGUMES..... 18
I. Etude pharmacognosique sommaire..... 18
I.1. Les légumes feuilles..... 19
I.1.1. Les choux..... 19
I.1.2. Les laitues..... 19
I.2. Les légumes racines..... 21
II. Etude nutritionnelle..... 21
II.1. Composition des laitues choux et carotte..... 21
II.2. Valeurs nutritives en cations..... 22
II.3. Utilisation en alimentation humaine..... 23

CHAPITRE III : ETUDE DES NITRATES..... 25
I. Etude dans le sol..... 25
II. Etude chimique dans les plantes..... 26
III. Réaction de nitrosation..... 27
III.1. Formation de nitrosamines..... 27
III.2. Synthèse endogène des composés N-nitrosés.... 28
IV. Les nitrate, nitrites et composés nitrosables dans les préparations pharmaceutiques..... 28

DEUXIÈME PARTIE : TRAVAUX PERSONNELS..... 30

CHAPITRE IV : METHODE D'ANALYSES ET MATERIEL..... 31
I. Matériels..... 31
II. Procédures..... 32
II.1. Enquête préliminaire..... 32
II.2. Echantillonnage..... 32
II.2.1. Lieux..... 32
II.2.2. Prélèvements..... 32
II.2.2.1. Prélèvements de sol..... 32
II.2.2.2. Prélèvements de légumes..... 33
II.3. Préparation des échantillons..... 33
II.3.1. Echantillons de sol..... 33
II.3.2. Echantillons de légumes..... 33
III. Analyses physiques..... 34
III.1. Détermination du pH du sol..... 34
III.2. Complexe absorbant : détermination de la capacité d'échange des cations (C.E.C) et des bases échangeables..... 34
III.3. Analyse granulométrique..... 34
IV. Analyses chimiques..... 35
IV.1. Détermination du carbone organique..... 35
IV.2. Détermination de l'azote total..... 35
IV.3. Détermination du phosphore assimilable dans l'extrait HCl-NH_4F (méthode de Bray)..... 36
IV.4. Détermination du phosphore total..... 36
IV.5. Dosage des nitrates dans le sol et les plantes..... 36
IV.5.1. Spectre d'absorption..... 36
IV.5.2. Dosage des nitrates dans le sol..... 36
IV.5.3. Dosage des nitrates dans les plantes..... 39

CHAPITRE V : RESULTATS ET COMMENTAIRES..... 41
A. RESULTATS..... 41
I. Résultats des analyses de sol..... 41
I.1. Valeurs chimiques et physiques des sols..... 41
I.2. Teneurs en nitrates des échantillons de sol.... 43
I.2.1. Etablissement de la droite d'étallonnage.. 43
I.2.2. Teneurs en nitrate..... 43
II. Résultats des analyses de légumes..... 46
II.1. Teneurs moyennes en cations des légumes..... 46
II.1.1. Variation des teneurs moyennes selon les légumes..... 46
II.1.2. Variation des teneurs selon les zones.... 46
II.2. Teneurs en nitrate des légumes..... 47
II.2.1. Établissement de la droite d'étallonnage. 47
II.2.2. Résultats de teneurs en nitrates de chaque légume..... 48
II.2.2.1. Teneurs en nitrate des laitues..... 48
II.2.2.2. Teneurs en nitrate des carottes..... 51
B. COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS..... 54
C. CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS..... 75

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 77

ANNEXES..... 81

A B R E V I A T I O N S

m	:	mètre
°c	:	dégré celsius
%	:	pourcentage
mg	:	milligramme
g	:	gramme
[illegible]	:	[illegible]
[illegible]	:	[illegible]
ml	:	millilitre
d	:	densité
µg	:	microgramme
nm	:	nanomètre
ppm	:	partie par million
T /mn	:	tours par minute
e⁻	:	électron
mm	:	millimètre
M	:	molé[illegible]
meq	:	milliéquivalent
l	:	litre
pH	:	potentiel hydrogénique
fig	:	figure
[illegible]	:	[illegible]
[illegible]	:	[illegible]
[illegible]	:	[illegible]
U-V	:	ultra - violet
FAO	:	Food and agricultural organisation
O.M.S	:	organisation mondiale de la santé
P.P.M	:	pharmacie populaire du mali
PVD	:	pays en voie de développement
N	:	numéro
Mo	:	molydène
Cu	:	cuivre
Mn	:	manganèse
cm	:	centimètre
Fe	:	fer
Kcl	:	chlorure de potassium
NH_4F	:	Fluorure d'ammonium
Al	:	aluminium
NaOH	:	hydroxyde de sodium
NaNO3	:	nitrate de sodium
S	:	soufre
Si	:	silicium
[illegible]	:	[illegible]
ADN	:	acide désoxyribonucleique

INTRODUCTION

La population mondiale, dont l'effectif ne cesse d'augmenter exige des quantités croissantes de nourriture, d'aliments de bétail, de textiles et de combustibles. Elle demande ainsi de plus en plus aux agricultures locales pour satisfaire ces besoins.

Pour cela, l'agriculture est un secteur pilier de l'économie des pays en voie de développement en général et du Mali en particulier.

Un des objectifs cher à notre pays "l'autosuffisance alimentaire" ne peut être atteint sans l'augmentation de la production et l'amélioration de la productivite.

C'est ainsi que l'utilisation des engrais a pris de l'ampleur dans l'agriculture. Il est bien connu que l'autosuffisance alimentaire des pays en développement implique l'emploi rationnel des engrais et de toutes les autres sources d'éléments fertilisants pour les cultures. Ces sources sont les matières organiques, la fixation biologique de l'azote atmosphérique... etc. C'est ce qui fait qu'on est tenté de croire que sans l'emploi des engrais cet objectif ne sera pas atteint[1]

L'utilisation intensive des engrais a cependant soulevé récemment certaines craintes concernant la possibilité d'arrière-effets polluants des agrosystèmes. Ainsi la surfertilisation en nitrates des terres de culture s'accompagne d'une augmentation de leur taux dans les tissus des végétaux.

La détection et le dosage des nitrates et des nitrites dans les aliments suscitent de nombreuses recherches depuis que les travaux de Magée en 1956 ont mis en évidence l'effet cancerigène des nitrosamines.

Les nitrates et les nitrites intervenant dans la formation de ces composes les autorités nationales, comme les organismes internationaux, demandent de restreindre leur emploi dans les prodruits alimentaires [33]

Les végétaux étant les sources d'aliments de base des animaux et de l'homme, il serait donc nécessaire de limiter l'accumulation des nitrates ou autres sources d'azote toxique dans le sol, les plantes et les eaux.

Cependant, dans le soucis d'améliorer et d'augmenter leur production, les maraîchers de Bamako utilisent d'importantes quantités de fumures organiques et un peu d'urée.

Cette pratique n'est sans doute pas sans effet sur la qualité des légumes et leur teneur en certaines substances telles que les nitrates.

Les laitues, les carottes et les choux occupent une place

importante dans l'alimentation légumière des habitants du district de Bamako.

Ces légumes n'échappant pas à l'utilisation intensive des agents fertilisants, nous nous posons les questions de savoir quelle quantité de nitrate sont-ils susceptibles de contenir à leur stade de consommation ?

Quel impact, les systèmes de fertilisations appliqués par les maraîchers peuvent-ils avoir sur la santé humaine ?

Pour répondre à ces questions, nous ferons tout d'abord un rappel de quelques notions pédologiques et agronomiques. Une étude sommaire sur les légumes étudiés et les nitrates sera faite. Ensuite nous allons faire, en fonction des moyens disponibles, des analyses physiques et chimiques des sols maraîchers et une analyse chimique des légumes et eaux.

Tous ces travaux d'analyses physico-chimiques ont été effectués au laboratoire des sols, plantes et eaux de la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières et Oléagineuses à Sotuba (S.R.C.V.O.).

PRESENTATION DE LA STATION DE RECHERCHE SUR LES CULTURES VIVRIERES ET OLEAGINEUSES (S.R.C.V.O)

La Station de Récherche sur les Cultures Vivrières et Oléagineuses (Ex. IRAT. Mali) est un service de la récherche agronomique.

Elle se trouve à Sotuba à l'EST de la ville de Bamako.

Comme son nom l'indique, elle est chargée de l'amélioration des Cultures Vivrières et Oléagineuses au Mali en vue d'augmenter la productivite et la qualité des cultures. Si la productivité dépend du matériel végétal, elle ne dépend pas moins des sols sur lesquels les plantes sont cultivées.

Cette augmentation de la productivité passe donc nécessairement par des études de sols telles que :

A : Classification
B : Fertilité chimique
C : Physique du sol

Ces études pour être complètes et compréhensives demandent des analyses de sols au laboratoire.

Le but du laboratoire de la station de Récherche de SOTUBA est donc d'aider dans leurs taches, les agronomes les pédologues, les agropédologues et les hydrologues en mettant à leur disposition les resultats des analyses physiques et chimiques du sol.

PREMIERE PARTIE

GENERALITES

CHAPITRE I

NOTIONS PEDOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES

A - LE SOL

I. Définition et rôle du sol

Le sol est à la base du secteur primaire de l'économie. En vue de l'augmentation de la production, l'homme s'est efforcé à l'étudier. Au fil du temps, plusieurs disciplines ont tenté de le cerner. La première des sciences de ce domaine fut l'agrologie. C'est ainsi que pour elle, le mot "sol" désigne les trente (30) premiers centimètres de la surface terrestre. Notons que cette portion représente la partie touchée par les instruments aratoires les plus courants (houes, charrues etc...).

D'autres sciences ont succedé à l'agrologie. Elles ont à leur tour donné l'éthymologie de leur choix au mot. Parmi elles, c'est la pédologie, de nos jours exerce beaucoup d'influence. Ainsi adopterons-nous sa définition qui peut être résumée ainsi.

"Le sol" est la couche supérieure de la surface terrestre. Il possede une épaisseur variable et évolue sous l'influence de processus d'origines diverses : biologiques, chimiques... Grâce à son ameublement, il entretient la vie des végétaux.

Cette définition apparaît selon Gauthier comme une forme beaucoup plus élaborée de la précédente. Ici le rôle du sol pour les végétaux en général est abordé alors que précédemment seules les plantes cultivées étaient mises en relief.

Il apparaît donc que le sol occupe pour les végétaux deux fonctions principales : leur servir de support d'une part et de l'autre assurer leur ravitaillement en éléments nutritifs [1] Pour cela, la connaissance de la composition chimique du sol est nécessaire.

II. Composition chimique du sol

Le sol est le milieu qui assure la croissance des plantes. Il leur fournit un support mécanique, fournit aux racines l'eau, l'oxygène et les éléments fertilisants. C'est ainsi qu'apparaît la notion de fertilité.

II.1. Fertilité du sol

La fertilité du sol est sa capacité à fournir aux plantes les éléments fertilisants, l'eau, l'oxygène en quantités convenables à leur croissance optimum. Le terme fertilité englobe

la composition chimique et la disponibilité pour les plantes des éléments fertilisants. L'arrangement physique et les propriétés des particules du sol et de la matière organique déterminent la disponibilité de l'eau de l'oxygène ainsi que la nature de l'activité des micro-organismes du sol [6].

La fertilité d'un sol en un élément dépend surtout du pH (Fig 1;2).

II.2. Composition chimique

La matière minérale, l'eau, l'air et la matière organique sont les principaux constituants du sol. La dimension des particules minérales permet de les classer de grossières comme les pierres, les graviers et le gros sable, à très fines comme le limon et l'argile.

Nous donnons à titre d'exemples quelques constituants chimiques :

- éléments minéraux : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le fer (Fe), le zinc (Zn),l'aluminium (Al)...
- Les ions tels que : Ca^{2+} , Mg^{2+} ,Na^{+} ,HCO_3^- , NO_3^-, SO_4^{2-} ,K^+...

Il existe cependant des interactions entre ces éléments (Tableau N°1) [1].

III. Texture du sol

La texture du sol est définie par sa teneur en particules de différentes dimensions (au-dessous de 2mm de diamètre). On distingue généralement trois classes texturales de bases (selon l'USDA) appelées sable (diamètre de 2 à 0,05mm), limon (diamètre 0,05mm à 0,002mm) et argile (diamètre inférieur à 0,002mm). On classe les sols selon les proportions relatives de ces particules en groupes de texture tels que : sable, sablo-limoneux, argilo-limoneux, argileux etc... [6].

Compte tenu du rôle joué par le sol dans la vie végétale sa composition doit être controlée pour éviter les surfertilisations qui peuvent induire des accumulations de substances toxiques dans les plantes. Cette surfertilisation est due généralement à l'apport incontrôlé d'engrais organiques et minéraux.

B - LES ENGRAIS

L'utilisation des engrais a commencé à devenir une pratique courante dans la plupart des pays industrialisés vers la fin du XIXe siècle et au début du XXe siècle. Mais elle a très fortement augmenté dans ces pays au cours des 20 années qui ont suivi la 2è guerre mondiale. Dans les pays en voie de développement, les engrais n'ont été jusqu'à une période relativement récente

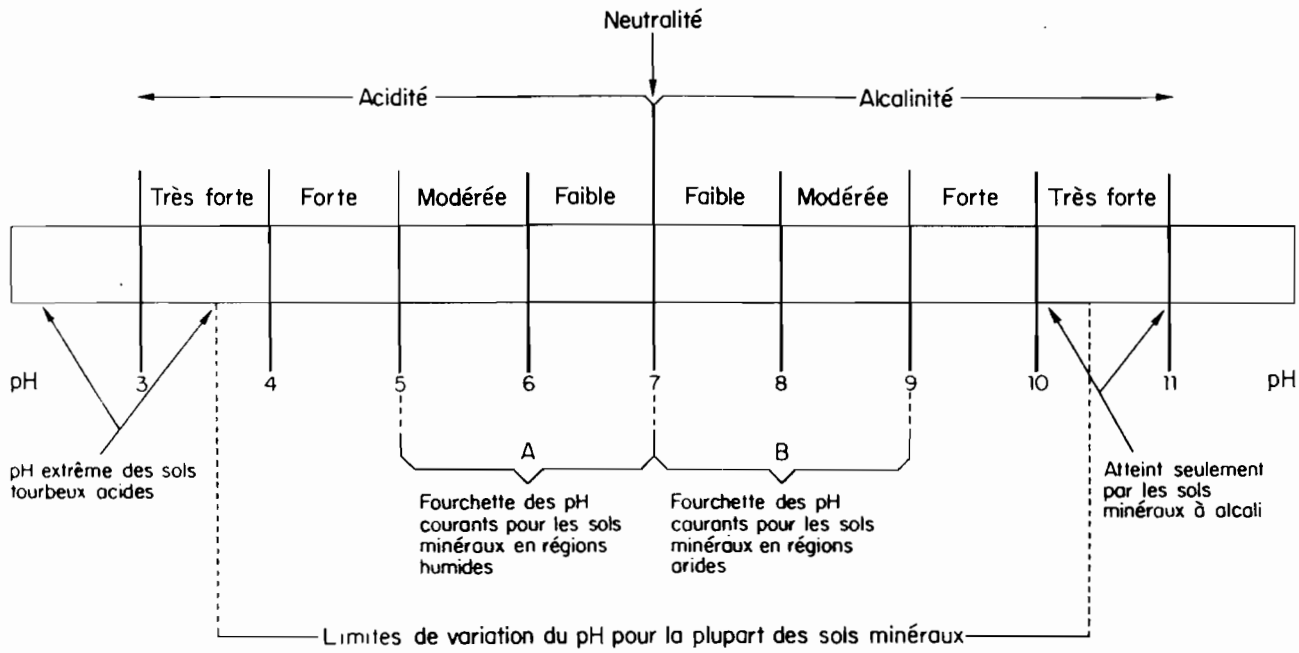


Fig. 1 Echelle des pH du sol

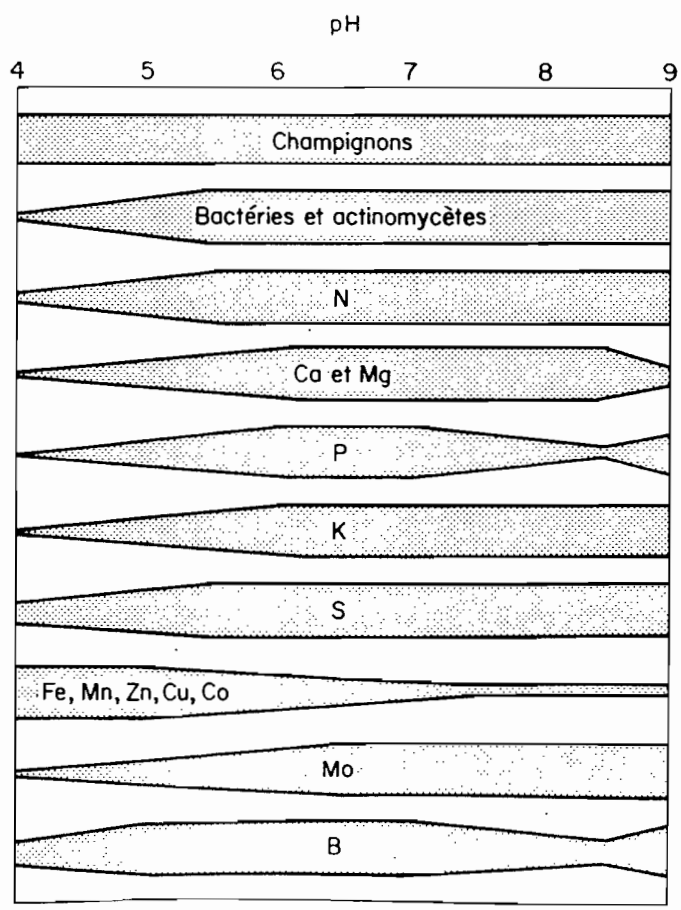


Fig. 2 pH des sols, disponibilité relative des éléments fertilisants et activité de la microflore (plus la bande est large, plus la disponibilité ou l'activité est grande)

utilisés que sur les plantations comme le thé, le café et l'hévéa qui faisaient parties du secteur organisé. Leur emploi était soit faible, soit quasiment nul dans l'agriculture paysanne. Même lorsqu'ils étaient utilisés, les doses étaient faibles, en raison de la grande hauteur des variétés traditionnelles cultivées à cette époque et leur susceptibilité à la verse. L'introduction, dans la deuxième moitié des années 60, de variétés à haut rendement, de petite taille repondant bien à l'engrais, a donné une formidable poussée à l'emploi des engrais. Depuis ce moment, il y a une forte augmentation de l'utilisation d'engrais dans ces pays. La consommation mondiale d'azote, de phosphore et de potassium (exprimé en N, P_2O_5 et K_2O), pour les engrais était en 1970/71 de 31,8 ; 19,8 et 16,7 millions de tonnes respectivement. Les chiffres correspondant pour 1982/83 ont été de 61 ; 30,8 et 22,8 millions de tonnes, ce qui représente approximativement des accroissements de 92 ; 56 et 37 pour cent [6].

I. Définition et rôle des engrais

I.1. Définition

Les engrais sont des minéraux, naturels ou manufacturés qui déterminent des éléments fertilisants essentiels pour la croissance et le développement normaux des plantes.

I.2. Rôle

Les engrais jouent un rôle clé dans l'augmentation de la production agricole, que ce soit dans les pays industrialisés ou dans ceux en développement. Ainsi la plupart des pays en développement ont assigné une forte priorité aux engrais dans leurs efforts pour moderniser leur agriculture.

Les éléments nutritifs des plantes sont apportés sous forme d'engrais. Si les engrais sont rationnellement utilisés, ils améliorent les rendements des cultures et la qualité des récoltes.

La fumure adaptée aux besoins de la culture, assure aux produits une qualité optimum, tandis que l'excès n'améliore que dans les cas très rares, les composantes et la qualité.

Compte tenu de la diversité des éléments fertilisants, il existe plusieurs types d'engrais.

II. Différents types d'engrais

- Les engrais minéraux,
- Les engrais azotés,
- Les engrais phosphatés,
- Les engrais potassiques,
- Les engrais composés

TABLEAU N°1 : Interactions entre les éléments fertilisants.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Si	Cl	Na	B	Mn	Cu	Zn	M
N	x	s	s												s
	P	x		b	b		p					b		b	
		K	x	a	a		sb			a					
			Ca	x	a		a			a	b	b	b	b	
				Mg	x					a					
					s	x			a						
						Fe	x					a	a	a	
							Si	x							
								Cl	x						
									Na	x					
										B	x				
											M	x		a	
												Cu	x		a
													Zn	x	
														Mo	x

s : synergie (absorption croissante)

b : blocage ou inhibition

p : précipitation mutuelle

a : antagonisme

Les engrais azotés sont les plus utilisés compte tenu du rôle qu'ils jouent dans la vie végétale. Nous avons pour cela quelques exemples de ces engrais.

II.1. Les engrais azotés [6]

On peut classer les engrais azotés en quatre groupes suivant la forme chimique de l'azote qu'ils renferment. C'est ainsi que nous avons les engrais ammoniacaux, les engrais nitriques, les engrais mixtes ammonitres et amidés.

II.1.1. Les engrais nitriques

Ils contiennent l'azote sous forme d'ions nitrates (NO_3^-). La plupart des plantes absorbent une forte proportion de l'azote dont elles ont besoin sous cette forme. Ainsi lorsque l'épandage est suivie de fortes pluies, ou par des irrigations, il y a de grandes chances que l'azote soit perdu par lessivage. Les engrais nitriques alcalinisent les sols auxquels ils sont appliqués. Le nitrate de chaux et le nitrate de soude en sont des exemples. Ces deux engrais sont obtenus selon les réactions suivantes :

nitrate de soude :

$$Na_2CO_3 + 2HNO_3 \rightarrow 2NaNO_3 + CO_2 + H_2O$$

nitrate de chaux :

$$CaCO_3 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + CO_2 + H_2O$$

II.1.2. Engrais ammoniacaux

Ils contiennent de l'azote sous la forme d'ions ammonium (NH_4^+). Lorsqu'on les apporte au sol, ces ions sont absorbés par les colloïdes et ne peuvent être lessivés. Mais, ils sont assez rapidement nitrifiés par l'action des bactéries. La plupart des cultures particulièrement en début de croissance, peuvent absorber une partie de l'azote dont elles ont besoin sous forme d'ions ammoniac. Ainsi les engrais ammoniacaux, que ce soit avant ou après leur nitrification, donnent de l'azote assimilable. Ils sont acidifiants et leur application prolongée acidifie le sol.

Le sulfate et le chlorure d'ammoniac sont des exemples.
Le sulfate d'ammoniac peut être obtenu par neutralisation directe de l'ammoniac par l'acide sulfurique.

$$2NH_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

II.1.3. Ammonitrates

Ces engrais contiennent à la fois les ions ammoniac et des ions nitrates. Ils s'obtiennent selon la réaction suivante :

$$NH_3 + HNO_3 \longrightarrow NH_4NO_3$$

Les engrais simples de ce type couramment utilisés sont :

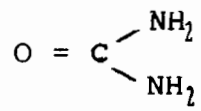
- Le nitrate d'ammoniac
- Le sulfonitrate d'ammoniac
- et l'ammonitrate calcique

II.1.4. Amides

Ce sont les composés organiques simples dont l'azote n'est pas immédiatement assimilable par les plantes. Après leur épandage, ils se transforment rapidement en azote ammoniacal ($N-NH_4^+$) et plus tard en nitrate (NO_3^-)

II.1.5. L'Urée : $CO(NH_2)_2$ (46% d'azote)

L'urée est l'engrais azoté le plus concentré.
Sa formule dévéloppee est :



L'urée est fabriquée par réaction de l'ammoniac sur le gaz carbonique sous forte pression (160 à 220 atmosphères) et à haute température (170 à 190°C) dans un autoclave.

Les réactions chimiques peuvent se représenter ainsi :

$$2NH_3 + CO_2 \longrightarrow \underset{\text{(carbonate d'ammoniaque)}}{NH_4\ COONH_2}$$

$$NH_4\ COONH_2 \longrightarrow \underset{\text{(Urée)}}{CO(NH_2)_2} + \underset{\text{(eau)}}{H_2O}$$

L'urée apportée au sol, se transforme rapidement en carbonate d'ammoniaque et de fortes concentrations d'ammoniac se créent. Si l'urée est incorporée au sol, l'ammoniac est retenu par les colloïdes mais si elle est épandue en surface, des quantités considérables d'ammoniac peuvent être perdues par volatilisation dans l'atmosphère. Elles dépendent du type de sol, de la pluie et l'état d'humidité du sol et la température. L'ammoniac peut ainsi nuire aux plantules si l'urée est placée à leur contact.

L'Urée est aussi un bon engrais azoté si elle est employée dans les bonnes conditions. Sa forte solubilité dans l'eau permet de l'utiliser sous forme de solutions fertilisantes ou en pulvérisation foliaire. L'urée sera le plus efficace dans les

périodes de pluies avec une culture qui pousse vite.

II.2. La fumure organique

Nous citons comme exemples le fumier de ferme, le compost et les ordures ménagères qui renferment de fortes teneurs d'azote.

II.2.1. Les déchets urbains

Ce sont tous les composants des dépotoires (ordures ménageres, produits de voies publiques, foires, etc...).

Ils ont la composition suivante :

- teneur en eau beaucoup importante, 30% environ
- matières minérales, 35 à 50%
- matières organiques, 20 à 35%

Cette composition est fonction de l'urbanisation, de la saison, de la situation géographique et le mode de vie.

Les analyses des déchets de Bamako faites par Diadé MAIGA (1982) ont montré une très grande variabilité de la composition physique de ces déchets.

Au point de vue composition chimique ces déchets sont particulièrement riches en matières organiques (6 à 7%) avec une teneur d'azote relativement élevée. Ils sont très riches en bases échangeables en particulier le calcium et le potassium. A travers cette étude ils influenceraient fortement la fertilité des sols maraîchers de Bamako.

II.2.2. Le fumier de ferme

Il est constitué par le mélange de déjections liquides et solides d'animaux domestiques. Sa valeur dépend du rapport de ses constituants et des changements qu'il subit en cours de stockage.

Sa composition est la suivante :

- 40% de matières organiques
- 50% d'azote
- 80% de phosphore
- et jusqu'à 95% de potassium, des aliments ingérés par le bétail passent dans le fumier.

Le fumier enfoui dans le sol joue un double rôle. La matière organique qu'il renferme se transforme en humus qui améliore le sol en agissant à la fois comme amendement et comme engrais.

Il se présente dans le sol en un véritable engrais complet puisqu'il renferme à la fois de l'acide phosphorique, de l'azote et de la potasse [16].

III. Quelques engrais chimiques utilisés au mali [32]

III.1. Les engrais azotés

Ce sont les suivants :

- L'uree $CO(NH_2)_2$ avec 46% d'azote
- Le sulfate d'ammonium $(NH_4)_2SO_4$ avec 21% d'azote
- Diammonium phosphate $(NH_4)_2HPO_4$ avec 18% d'azote

La fertilisation azotée est souvent moins efficace qu'avec les autres éléments nutritifs. Cela est dû à la solubilité et les différentes pertes substantielles. L'efficacité de l'engrais azoté est souvent entre 30 et 60%. La pluviométrie est le plus important facteur qui détermine le moment optimum de son application.

III.2. Les engrais potassiques

- sulfate de potassium K_2SO_4 avec 41 % de K (potassium)
- CHlorure de potassium KCL, 33 (KCL-40) ou 50 (KCL-60)
- Complexe coton, complexe céréal avec 12 % K_2O (10 % de K)

III.3. Engrais, chaux

Ce sont les types d'engrais et de chaux contenant du calcium.

- simple superphosphate (SSP)avec 13 a 20 % de Ca
- gypse ($CaSO_4$) avec 25 % CaO (soluble)
- phosphate naturel de Tilemsi (PNT) 35 à 45 % de Ca (peu soluble)
- chaux de composition variable selon les sources, Kayes-UCEMA, Hombori, Fanina-Dioïla et éventuellement d'autres 50,100 % de $CaCO_3$.

III.4. Engrais contenant du magnesium

- PNT avec 0,9 à 2,1 MgO (peu soluble)
- chaux dolomitique éteinte avec 2 à 50 % de MgO
- sel d'Epsom $MgSO_4$ avec 15% de MgO

IV. Comparaison entre fumures organiques et fumures chimiques

Malgré qu'ils ont les mêmes objectifs, ces engrais diffèrent par leur forme, leur composition et leur mode d'utilisation. Les fumures chimiques peuvent être simples ou composées. C'est-à dire, peuvent contenir un seul élément fertilisant ou plusieurs. Les furmures organiques contiennent plusieurs éléments fertilisants.

La période d'épandage est un facteur déterminant pour l'efficacité de ces engrais.

IV.1. Les fumures organiques

Le taux d'azote pour ces fumures est estimé à 1 % dont à peu près le tiers sera disponible pendant la première année [6]. Elles doivent être apportées aux terres arables bien avant les semis. Ceci, pour que leur décomposition soit bien avancée ainsi que la minéralisation des éléments fertilisants à ce moment. En climat chaud et humide, il peut suffir de quatre à six semaines, mais en climat tempéré, la décomposition est beaucoup plus lente. Un délai de plusieurs mois est souvent préferable. Ce qui n'est pas le cas pour les engrais chimiques.

IV.2. Fumures chimiques

Le moment optimum pour leur épandage est déterminé par le fait que leurs éléments fertilisants doivent se trouver disponibles au cours de la ou des périodes pendant lesquelles les plantes en ont besoin. Cela est fait pour éviter les pertes d'éléments assimilables dans le sol.

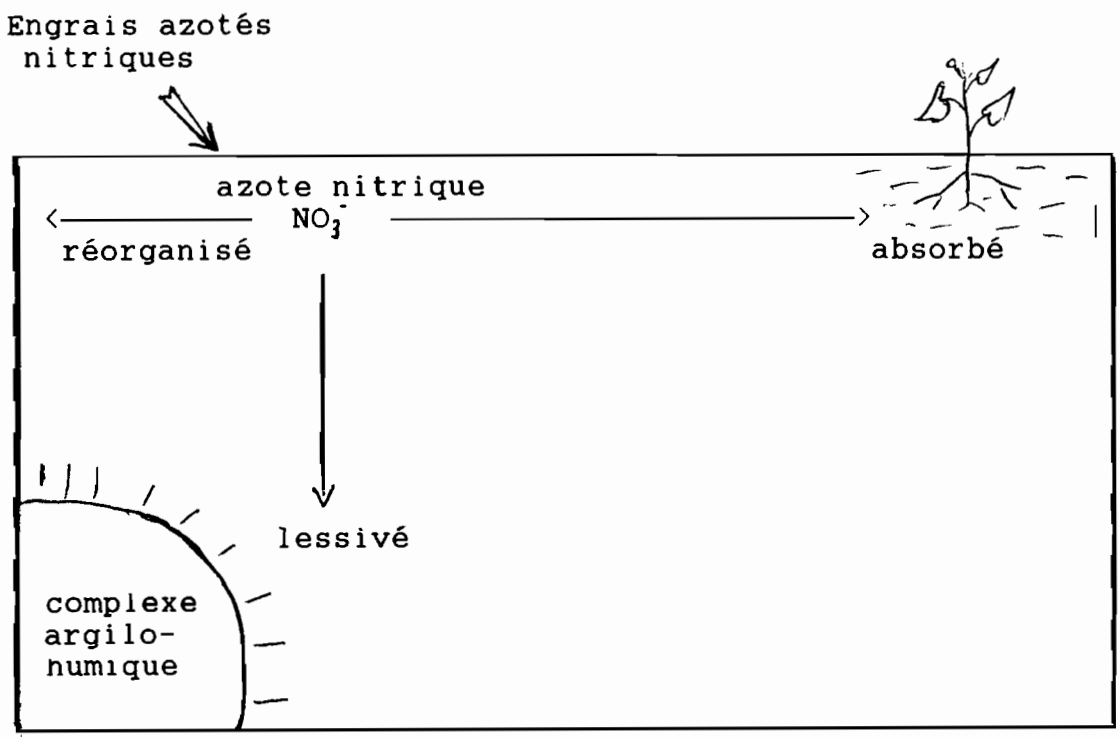
Pour l'azote, la plupart des cultures à cycle végétatif court n'ont que des besoins faibles au stade de plantules. Ces besoins deviennent très importants lors de la période de croissance intensive. Pour certaines cultures, l'intervalle entre le semi et la croissance rapide est court et long pour d'autres.

Les engrais, une fois au niveau du sol, sont soit directement absorbés, soit subissent des transformations avant l'absorption. Ceci nous amène à suivre l'évolution de ces engrais dans le sol. Nous allons pour cela, étudier le cas de quelques engrais azotés.

V. Evolution des engrais azotés dans le sol [30]

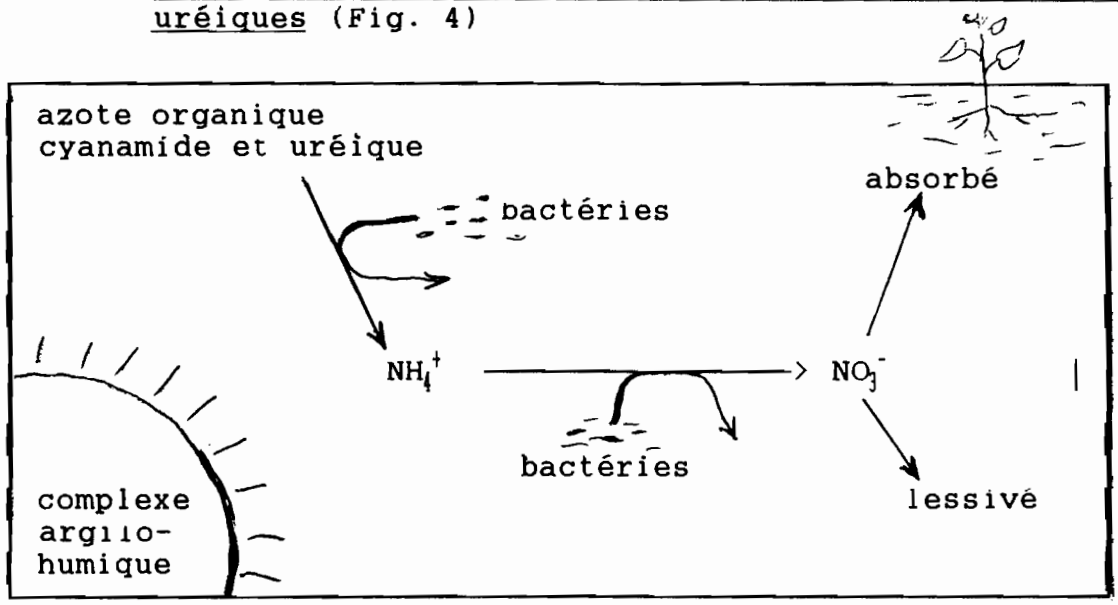
Cette évolution se déroule selon les schémas suivants :

V.1. Evolution des engrais azotés nitriques (Fig. n°3)



Les ions nitrates ne sont pas retenus par le complexe argilo-humique.

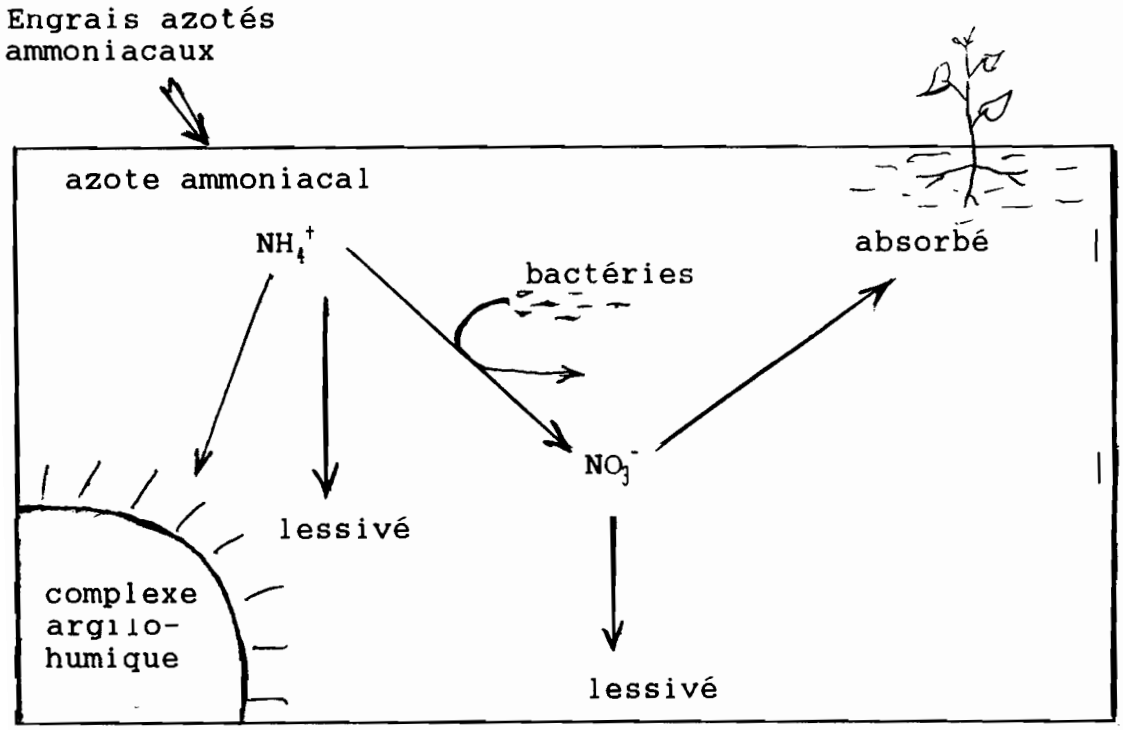
V.2. Evolution des engrais azotés organiques, cyanamides et uréiques (Fig. 4)



Nous avons la présence de bactéries telles que les ferments nitriques (nitrosomonas et nitrosococcus)

Les ions NH_4^+ peuvent se fixer au complexe du sol et sont absorbés sous forme de nitrate par les plantes.

V.3. Evolution des engrais ammoniacaux (Fig. 5)



C. NOTIONS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

Les végétaux sont de véritables "usines chimiques" fournissant aux animaux leur nourriture.
Il se passe la synthèse des constituants les plus complexes rencontrés dans les tissus vivants à partir de molécules minérales simples. Ceci implique que les végétaux sont autotrophes.

Ces molécules minérales simples sont apportées aux végétaux par le sol et les engrais. Elles sont absorbées avant d'être intégrées dans le circuit de la plante.

I. Absorption des éléments fertilisants par les plantes

Comme tous les êtres vivants, les plantes ont besoin de nourriture pour croître et se développer. Les plantes peuvent constituer des tissus organiques directement à partir de minéraux. Elles vivent, poussent et se reproduisent en absorbant de l'eau, et des substances minérales à partir du sol, du gaz carbonique, de l'air et de l'énergie solaire pour constituer leurs tissus.

Les plantes absorbent normalement les éléments fertilisants par leurs racines. Mais elles peuvent le faire aussi, dans une certaine mesure, par leurs feuilles si on leur apporte en solution. Ces éléments pénètrent dans les racines sous forme d'ions particules, ultra-microscopiques, porteuses de charges électriques. Les ions charges positivement ou cations comprennent l'ion ammonium (NH_4^+), l'ion potassium (K^+), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le manganèse (Mn^{2+}) pour ne citer que ceux-ci.

Ceux chargés négativement ou anions comprennent les phosphates ($H_2PO_4^-$), le nitrate (NO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}). La composition de la plante est sous la dépendance de celle du sol sur lequel elle pousse.

Les éléments absorbés constituent la matière première pour la formation de différentes substances.

Comme il est dit plus haut, l'azote agit le plus sur la croissance et le métabolisme des plantes.

Devenir de l'azote dans les plantes (Figure 6)

L'évolution de l'azote est schématisée de la manière suivante.

C'est l'ammoniac qui est le point de départ de la biosynthèse des matières protéiques. Mais, la plante est cependant capable d'utiliser l'azote sous d'autres formes. Nous avons l'azote ammoniacal de l'air sous forme de fines particules de carbonate $(NH_4)_2CO_3$ ou de nitrate . L'azote ammoniacal du sol est également utilisé par les plantes. Résultant de la nitrification bacterienne dans le sol ou apportés comme engrais les nitrates sont la forme principale de l'entrée de l'azote pour les plantes supérieures [13].

L'anion NO_3^- franchit le plasmalème grâce à un transport actif. La concentration à l'intérieur de la cellule étant supérieure à celle du milieu extérieure. Son lieu d'accumulation est la vacuole. Contrairement aux nitrates, les ions NO_2^- et NH_4^+,

très toxiques ne s'accumulent pas. Les nitrites sont réduits en ions ammonium immédiatement intégrés dans les molécules organiques comme la glutamine, on n'en rencontre jamais dans la sève ascendante [8].

fig. 6

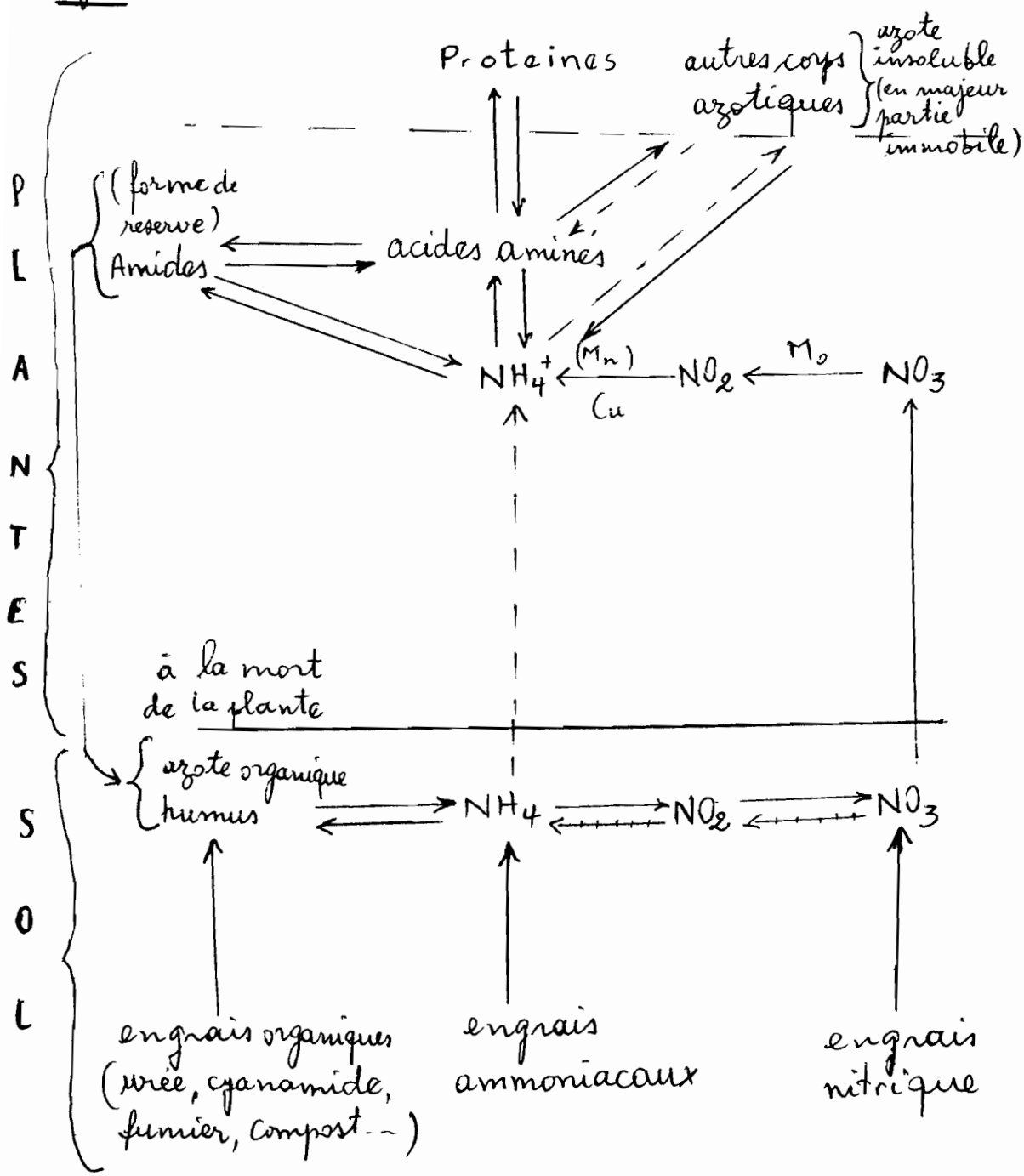


Schéma du cycle et des principales fractions de l'azote dans le sol et dans la plante [24]
Les Eléments absorbes déterminent la qualité de la plante.

II. Nutrition des plantes et qualité des produits

La notion de qualité se lie à la valeur nutritive du produit et à sa valeur commerciale qui dépend souvent de facteurs tels que l'aspect, la saveur, l'odeur et la tenue à la conservation. Lorsque les produits doivent subir un traitement agro-alimentaire ou industriel, les exigences, en matière de qualité, sont essentiellement fonction de celles de l'usinier [6].

La qualité dépend de plusieurs facteurs :

II.1. Facteurs externes et internes

La qualité des produits agricoles dépend du patrimoine génétique de la plante cultivée (facteurs internes) et du milieu (facteurs externes). Le premier régit la qualité spécifique de base de la plante et de la variété cultivée. Ceux du milieu agissent sur l'expression des gènes par différents mécanismes de régulation. Ces facteurs du milieu sont les éléments fertilisants, le sol, le climat et les techniques de culture.

L'équilibre de la fumure joue un rôle vital dans la qualité des produits. Celle-ci est fréquemment ameliorée par la fumure jusqu'à une dose optimum puis baisse si l'on dépasse de beaucoup cet optimum. Elle peut baisser également à cause de l'excès même d'éléments fertilisants, soit à cause de déséquilibre de fumure.

Ainsi la teneur du sol en un element détermine la qualité du produit.

II.2. Fertilité azotée

L'azote est celui des éléments fertilisants qui agit le plus sur la croissance et le métabolisme des plantes, donc sur la qualité des produits. L'accroissement des apports azotés modifie la composition de la plante en augmentant sa teneur en protéine et en diminuant les teneurs en hydrates de carbone et en huiles.

Les engrais azotés (et d'autres sources d'azote) agissent sur la qualité des produits tels que les céréales, les cultures oleagineuses et sucrières et surtout les légumes où l'azote augmente leur verdeur et les rend plus appetissants.

II.3. Autres éléments

Le phosphore joue un rôle significatif dans la synthèse de plusieurs composants importants des plantes. Ce sont les esters phosphoriques, la phytine, les phosphatides, les phosphoprotéines et les nucléoprotéines. Les apports accrus de phosphore augmentent la teneur des plantes en protéines brutes et particulièrement en acides aminés essentiels.

Le potassium active plusieurs systèmes enzymatiques. Une nutrition correcte en potassium exerce toute une serie d'effets sur la qualité de la culture et son comportement. Le potassium permet l'amélioration de la teneur en hydrate de carbone (sucre, amidon, fibres), l'augmentation des teneurs en un certain nombre

de vitamines. Ce qui est important pour les fruits et les légumes consommés frais.

La carence en calcium pose un certain nombre de problèmes pour différentes cultures notamment les légumes et les fruits. Ceci est rémarquable surtout si les autres conditions température, arrosage, nutrition sont bonnes. Cette carence fait piquer les pommes et leur donne de l'amertume le soufre entre dans la composition d'un certain nombre d'acides aminés essentiels. S'il fait défaut, la qualité des protèines baisse [6].

Comme toutes les plantes, les légumes absorbent les éléments fertilisants à partir du sol et de l'air. Ceci détermine leur qualité nutritive.

CHAPITRE II

ETUDE DES LEGUMES

L'alimentation humaine a toujours en partie été basée sur l'utilisation de certaines plantes dites légumières dont la culture remonte à la plus haute antiquité [26].

I. Etude pharmacognosique sommaire

La laitue, le chou et la carotte sont des Dicotyledones.
Le tableau N°2 consigne la classification botanique de ces différents légumes.

TABLEAU N°2 : Classification botanique des légumes étudiés [26].

Famille	GENRE	ESPECES	Dénomination Usuelle
COMPOSEES	Lactuca	Sativa var. capitata (L)	Laitue pommée
	Lactuca	Sativa var. romana (L)	Laitue pommée
CRUCIFERES	Brassica	Oléracea capitata (DC)	Chou pommé cabus
	"	Oléracea bullata (DC)	Chou pommé de Milan
	"	Oléracea caulorapa (DC)	Chou rave
	"	Oléracea gemmifera (DC)	Chou de Bruxelles
	"	Oléracea var botrytis (DC)	Chou-fleur
	"	Campestris nopobrassia	Chou-navet
OMBELLIFERES	Daucus	Carota (L)	Carotte

Selon la partie commestible, il y a deux types de légumes.

I.1. Les Légumes feuilles

I.1.1. Le Chou

La culture de tous les choux représente une spéculation avantageuse en raison de la rusticité propre à cette espèce. Tous les choux pommés cultivés se rattachent au genre Brassica et présentent dans les grandes lignes, les mêmes exigences culturales.

A l'état spontané, le chou se rencontre sous les climats maritimes en France, en Angleterre, au Danemark, en Italie, en Grèce. Sa culture remonte à la haute antiquité.Théophraste, 300 ans avant J.C. enrégistrait déjà trois races de choux bien distinctes. Un autre chercheur (Canton) expliquait que le chou favorise la digestion et combat l'ivresse [27].

Cette action peut être due aux hétérosides rencontrés dans le suc des crucifères. C'est le produit de dédoublement des hétérosides sulfurés qui a des propriétés rubéfiants [28].

Quant au chou-fleur, il était connu au IIIe siècle des botanistes arabes de l'Espagne.

Ce chou appartient à la famille des Crucifères. On en rencontre deux types à l'état spontanée, **Brassica baléracea et Brassica crética.**

Parmis les choux cultivés pour la consommation de leur feuilles, il convient de distinguer :

* Les choux pommés :
  - feuilles lisses (choux cabus), Brassica oléracea capitata DC
  - feuilles cloquées (choux de Milan), Brassica oléracea bulata DC.
* Les choux à pommes latérales :
  - Choux Bruxelles : Brassica oléracea gemmifera D.C.

Ces choux font l'objet de cultures maraichères très importantes et se rencontrent dans tous les jardins potagers.

I.1.2. La laitue

La laitue est une plante annuelle. Elle serait originaire de l'Europe meridionale. En réalité, son origine n 'a pas été bien précisée, mais il est par contre confirmé que sa culture remonte a la plus haute antiquité.

Elle était donc connu des Grecs et des Romains qui lui attribuaient un pouvoir somnifère [27].

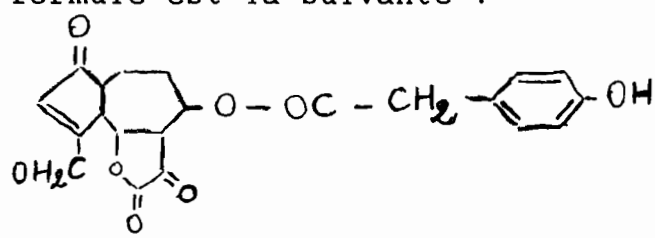
C'est surtout la laitue vireuse (Lactuca Virosa L) qui possède ces propriétés.

Toutes les parties de Lactuca Virosa L renferment un suc laiteux blanc.

Le Lactucarium (inscrit au codex 1884) est obtenu à partir de ce suc. Il se présente en pain brun rougeâtre d'un aspect résineux, souvent recouvert d'une efflorescence blanchâtre à cassure résinoïde plus claire. L'odeur est forte, Vireuse, la saveur amère.

Au départ on a isolé comme principe actif des traces d'alcaloïdes mydriatiques (hyoscyanine), mais pour Hegnauer (1964), c'est plutôt la platyphyline, alcaloïde des sénéçons. les constituants essentiels sont des principes amères non azotés, la lactucine et la lactucopicrine. Ce sont des composés profondement étudiés par Schenk, Wendt et Coll. de 1935 à 1961 en Allemagne.

La formule est la suivante :



Lactucopicrine (ester p-hydroxyphenylacétique de la lactucine)

Les Grecs et les Roumains le consideraient comme un succedané de l'opium.

Il présente des propriétés béchiques, sédative et hypnotiques legères [29].

On considère que la laitue présente une influence bienfaisante et rafraichissante sur l'économie de l'organisme humain. Le suc de la laitue est utilisé en thérapeutique et en parfumerie.

En médecine infantile, comme calmant de la toux (coqueluche, bronchite) (sirop de lactucarium opiacé, codex 1884).

Quant au Lactuca sativa L, elle servait à préparer une eau distillée de laitue (codex 1884) et un extrait de thridace (codex 1884) a proprietes pectorales et sedatives légères [22].

Les laitues sont classées en deux types :

* Les laitues pommées (Lactuca sativa, var. capitata L)
Elles sont classées selon les saisons :
  - Les laitues pommées de printemps
  - les laitues pommées d'automne
  - les laitues pommées d'hiver.

* Les laitues romaines (Lactuca sativa, var.romaine L)
Comme les précédentes, il existe les laitues romaines de printemps, d'été et d'hiver.

I.2. Légumes racines

Ce groupe est représenté par la carotte. C'est une plante indigène qui se développe à l'état spontané dans les terres profondes et fraiches portant généralement des prairies naturelles.

Les variétés blanches et jaunes sont reservées à la consommation du bétail, alors que les rouges constituent des variétés potagères.

Sur le plan historique, sa culture remonte à quelques 2000 ans. Connues des Grecs sous le nom de staphylinos, la carotte est très appréciée par les courtisants qui leur attribuaient les propriétés esthétiques. Elles étaient censées donner un joli teint à ceux qui les consommaient.

Depuis la guerre 1939/1949 la carotte potagère a pris une réelle extension en grande culture. Ce légume est devenu populaire. Son importance augmente chaque année car elle est mieux conquise dans le regime ordinaire de la table.

Le corps médical le recommande pour les enfants et les anémiéns. Ceci, non seulement pour la consommation habituelle, mais aussi pour les régimes.

La carotte renferme en effet,une teneur importante de vitamines A - B - C. C'est surtout la racine, riche en provitamine A (ß-carotène) et en vitamine B qui possède des propriétés alimentaires.

Les carottes sont classées ici selon la longueur de la racine [27].

- carottes courtes,
- carottes demi-courtes,
- carottes demi-longues (0,15 à 0,20 m),
- carottes longues.

II. Etude Nutritionnelle

Les légumes font partie des aliments protecteurs (ou de sécurité) qui contiennent des substances indispensables à la vie.

II.1. Composition des laitues-choux et carottes

La composition des quelques espèces est présentée dans le tableau N°3.

TABLEAU N°3 : Composition des laitues, choux et carottes (d'après les tables de composition des aliments de Randoin et les tableaux de Köning) [26].

Dénomination	Alb. %	Eau %	Mat. gras. %	Hydr. de C. %	Cal. pour 1 Kg	Vitamines			
						A	B	C	B_2
Carottes	0,94	88,02	0,23	8,70	413	x	x	x	x
Choux-fleur	1,73	91,07	0,20	3,82	288	x	x	x	x
Choux-cabus	1,09	92,04	0,09	3,50	199	x	x	x	x
Choux-navets	1,76	89,02	0,11	4,92	288	x	x	x	x
Choux-rouges	1,20	92,04	0,10	4,02	225	x	x	x	x
Choux de Br.	3,81	-	0,28	5,59	425	x	x	x	x
Laitues	1,02	94,08	0,17	1,49	122	x	x	x	x

- : valeur non indiquée
x : présence de l'élément dans le légume correspondant
Alb. : Albumine Br. : Bruxelles
Cal. : Calorie Hydr. de C. : Hydrates de Carbone
Mat. gras : Matières grasses

II.2. Valeurs nutritives en cations

Les légumes contiennent des cations tels que Na^{+} ,Ca^{2+} ,K^{+} , Mg^{2+}.

Le magnésium est un constituant des dents, des os et un cofacteur enzymatique (Kinase etc...). Ses sources sont les légumes à feuilles vertes (renfermant de la chlorophylle).

Le calcium est un constituant des os et des dents. Il intervient dans la régulation de la fonction nerveuse, de la fonction musculaire. On le rencontre dans les produits laitiers, les légumes feuilles [5].

Il est admis d'une manière incontestable que l'usage abondant des légumes représente un facteur essentiel de bon équilibre physiologique. Cela est surtout remarquable chez les citadins. Ceci est vérifié en raison des vitamines qu'ils contiennent et aussi de certaines substances chimiques. Ces deux facteurs font que les légumes sont indispensables à la santé et ne peuvent être remplacés par d'autres produits. Ils représentent des aliments nutritifs de première valeur.

Les valeurs nutritives en cations des légumes sont présentées dans le tableau N°4.

TABLEAU N°4 : Valeurs nutritives en cations de quelques aliments à base de légumes [14].

100 g de parties commestible renferment les contituants suivants :

Constituants / Noms des aliments	Eau g	Na mg	K mg	Mg mg	Ca mg
Laitue ordinaire, lactuca sativa feuilles	94	-	300	13	62
Chou, Brassica oléracea frais coeur	93	5	300	20	46
frais feuilles	93	11	402	34	429
Chou Brocoli, var botrytis	90	10	336	24	100
Chou de Bruxelles, var bullata gemmifera	85	11	375	30	30
Carottes, Daucus carotta L	88	30	15	15	39

- : Valeur non indiquée
Na : Sodium K : Potassium
Mg : Magnesium Ca : Calcium

II.3. Utilisation en alimentation humaine

On assiste depuis une dizaine d'années à une évolution qualitative dans la consommation des légumes . Cette évolution présente une incidence sur l'éventail des espèces produites.

L'augmentation des parcelles exploitées depuis une dizaine d'années montre qu'il y a une production massive de légumes à Bamako.

A la suite des années de sèchereresse, les productions maraîchères se sont développées. On assiste de plus en plus à une consommation importante des légumes par les populations urbaines et rurales [4].

Le Plan Indicatif Mondial (PIM) de la FAO donnait pour le Mali des prévisions reservées pour la production et la consommation de légumes destinées à l'homme. D'après ces études le taux d'accroissement de la consommation pour chaque cinq ans est de 11 [3].

Le sentiment de la ménagère à évolué en ce sens qu'il ne s'agit plus pour elle de "faire manger sa famille à sa faim" mais de la faire manger "mieux" sur le plan qualitatif. Les légumes frais, crus ou cuits constituent maintenant une classe alimentaire dont le consommateur ne peut se passer. Ils ne sont pas consommés comme plats de base, mais sont associés souvent sous forme de garnitures aux viandes, pâtes à du riz, aux pommes de terre, etc...

D'autres sont consommés sous forme de salades : chicorées,laitues, choux, ...

Les légumes permettent de satisfaire le besoin de changement devenu impératif de nos jours. Ils apportent du nouveau en présentant les avantages suivants :

- éléments vivants conservant leur eau de constitution,
- éléments de formes et de couleur forts variées,
- éléments riches en oligo-éléments et en vitamines,
- éléments de saveurs différentes et de textures très différenciées.
- éléments assurant une constante végétale de l'alimentation des espèces, leurs variétés et leurs types de cultures permettant d'en disposer tout au cours de l'année.
- éléments associant a de multiples combinaisons soit entre eux, soit avec d'autres éléments.

Malgré ce bienfait, les légumes peuvent être des sources de substances toxiques tels que les nitrates.

CHAPITRE III

ETUDE DES NITRATES

Les nitrates sont les aliments les plus abondants et également les meilleurs pour les plantes vertes.

Résultant de la nitrification bactérienne dans le sol ou apportés comme engrais, les nitrates sont la forme principale de l'entrée de l'azote pour les plantes supérieures.

Ce sont les sels de l'acide nitrique (HNO_3, un acide fort). La plupart d'entre eux sont solubles dans l'eau. Les nitrites proviennent des nitrates par réduction.

Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux (HNO_2, un acide faible). Ils sont plus stables que les acides correspondants. A l'exception du nitrite d'argent, ils sont très hydrosolubles.

I. Etude dans le sol

La teneur du sol en azote est de l'ordre de 1g pour 1000g de terre dont 1 à 2 % sous forme minérale soluble (nitrates, dérivés ammoniacaux).

Une plus grande partie provient de la transformation de NH_4OH du sol en acide nitrique par nitrification.

Ils sont apportés au sol sous forme d'engrais où les engrais nitriques donnent NO^{3-} et les engrais ammonicaux donnent NH_4^+.

Les engrais comme les fumures organiques (fumures, compost), l'urée, cyanamides donnent de l'azote organique qui donne NH_4^+ pour enfin aboutir a la formation de NO_3^-.

La matière organique est minéralisée, c'est-à-dire qu'elle est transformée en ion ammonium par les microorganismes. Puis d'autres microorganismes transforment ces ions en nitrites et en nitrates. Ces nitrates constituent avec une partie de l'ammoniaque les aliments azotés des êtres vivants.

Un apport de nitrate constitue un véritable "coup de fouet" dans le développement de la plante.

La teneur d'un sol en nitrate conditionne directement sa fertilité.

Les nitrates n'étant pas absorbés par le sol comme la plupart des anions, sont facilement lessivés.
Ils sont des sels en principe physiologiquement alcalins. C'est à dire que l'absorption préférentielle des ions tend à élever l

pH du sol [21]. Ceci peut s'expliquer par le fait que la plante maintient toujours l'équilibre de ses charges électriques, quels que soient les mécanismes de l'absorption. C'est pourquoi le milieu s'acidifie lorsque l'absorption des cations est plus forte que celle des anions et s'alcalinise dans le cas inverse [26].

Une accumulation des cations qui accompagnent l'ion NO_3^- avant son absorption, peut entrainer une acidité du milieu (sol). Après absorption, les ions nitrates subissent des transformations au niveau de la plante pour la formation d'autres substances.

II. Etude chimique dans les plantes

Chez les plantes vertes, les nitrates sont les aliments les plus disponibles et migrent des racines vers les feuilles.

Les ions absorbés par les extrémités des racines et les poils absorbants migrent vers d'autres parties de la plante où ils entrent dans les divers processus métaboliques.

En ce qui concerne le dévenir des nitrates dans la plante, il y a différentes étapes pour la formation de protéines.

Les nitrates sont peu toxiques pour les plantes. Dans un sol riche, la moitié de l'azote total des racines peut être stocké sous forme de nitrate. La meme accumulation peut s'observer dans les parenchymes lorsque la photosynthèse est déprimée et par là, l'anabolisme protidique ralenti.

L'absorption de NO_3^- se ferait surtout par la pénétration rapide de molécules de HNO_3 formées par hydrolyse de ses sels. HNO_3 n'est pas utilisé directement mais aprés réduction à l'état ammoniac. Lorsqu'il est absorbé en grande quantité, une forte proportion de NH_4OH est réjetée dans le milieu de culture. Dans la plupart des plantes étudiées, on a constaté que la réduction des nitrates s'effectue dans les racines, totalement chez le pommier, partiellement chez le blé et la tomate par exemples. Les nitrates qui n'ont pas été réduits dans les racines, vont cheminer avec la sève et seront activement réduits au niveau des feuilles, les tiges n'ayant au contraire qu'une capacité réductrice faible. La réduction de HNO_3 en NH_4OH se fait au niveau de la plante [8].

Pour la formation de matières protéiques, l'ammoniaque, de très faible poids moléculaire,est extrêmement diffusible, très apte à traverser la membrane végétale et pénétrer dans la cellule sous forme non dissociée. NH_4OH, très toxique pour les cellules est immédiatement métabolisé et on n'en rencontre jamais dans la sève ascendante.

Les nitrates sont des agents nitrosants dans la formation des composés N-nitrosés (CNN).

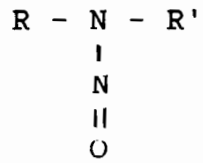
III. Réaction de nitrosation [10]

Elle s'écrit symboliquement de la manière suivante :

$$R_2 = NH + (NO) \longrightarrow R_2N\text{-}NO + e^- + H^+$$

R_2 = NH est un composé nitrosable : une amine sécondaire; (NO) est un agent nitrosant.

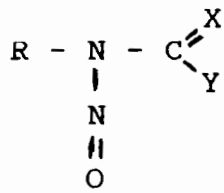
Formule générale des composés N- nitrosés :



On obtient a partir de la réaction ci-dessus les nitrosamines dérivés de :

- dialkylamines R',R = alkyles
- alkylarylamines R = alkyl, R' = aryle
- diarylamines R',R = aryles
- amines cycliques : R', R = cycles

Formule générale des nitrosamides :



Par la même réaction, on peut obtenir les nitrosamides (et assimilés) dérives de :

- alkylamides X = O ; Y = alkyl ou aryle
- alkylurées X = O ; Y = - NH_2 ou - NHR ou - NR_2
- alkylcarbamates X = O ; Y = -OR
- alkylguanidines X = -NH ; Y = -NH_2

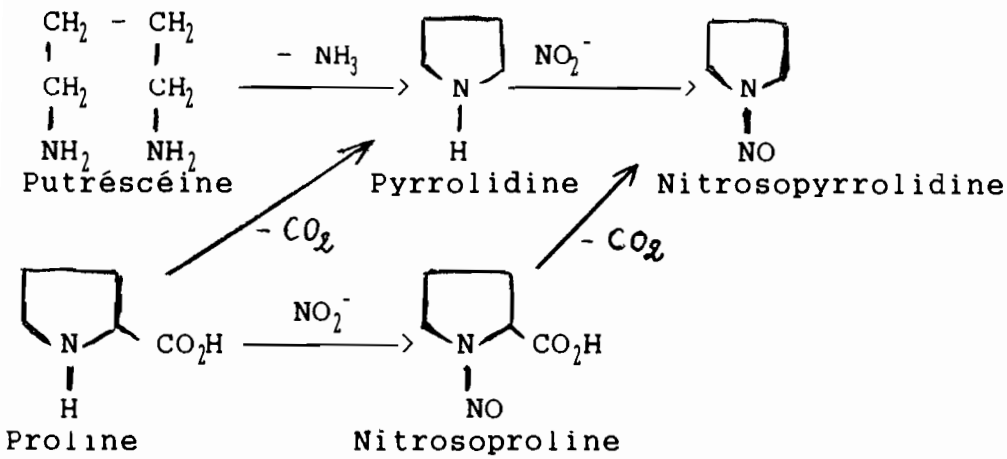
La formation de nitrosamines s'effectue par nitrosation des amines par le nitrites issus eux-mêmes des nitrates. Ces composés peuvent se trouver dans les aliments ou se former in vivo.

III.1. Formation de nitrosamines

Elle se fait en présence des nitrites qui sont apportés par les aliments. Les nitrites sont utilisés dans la conservation des viandes et du poisson. La formation des nitrites à partir des nitrates est d'origine bactérienne. Les nitrates se trouvent dans les aliments, les eaux, les boissons et dans certains sols [25].

* Pour les aliments nous avons la nitrosopyrrolidine (NPYR) dans les bacons et produits charcutiers. Elle provient de la décarboxylation de la nitrosoproline (NPRO) et de la désamination de la putrescéine en pyrrolidine qui se nitrose ensuite [10].

La réaction simplifiée est la suivante :



* Nous avons également les nitrosamines du tabac. Ils sont obtenus par nitrosation

Nornicotine ——————> nitrosonornicotine (NNN)
Nicotine ——————> 4-méthylnitrosoamino-1-(3-pyridyl)-1-butanone(NNK)
Anabatine ——————> nitrosoanabatine (NAT)
Anabasine ——————> nitrosoanabasine (NAB)

III.2. Synthese endogène des composés N-nitrosés

Dans les conditions normales ou pathologiques, on trouve à la fois des précurseurs organiques importants (surtout amines secondaires), des nitrates et des nitrites, des bactéries en particulier des nitrato-réducteurs et des catalyseurs de la nitrosation dans des sites de l'organisme. Voilà pourquoi l'intérêt doit être porté à la cavité buccale, à la salive qui constitue une sécrétion où les nitrosations sont très favorisées, sur l'estomac, notamment chez le patient en cours de traitement antiulcéreux (pH stomacal élevé, développement des nitrato-réducteurs).

Les réactions de nitrosation peuvent être catalysées par voie physique, en particulier par voie photochimique (U-V), par voie microbienne, qui intervient in situ dans les organismes, par voie chimique où nous avons les halogénures et pseudo-halogénures (thiosulfates) dont les activités varient dans l'ordre suivant : $I^- > SCN^- > Br^- > Cl^-$ [10].

IV. Les nitrates, nitrites et composés nitrosables dans les préparations pharmaceutiques

Ces substances sont utilisées dans la préparation de certains médicaments dont nous citons ici quelques exemples :

- Le nitrite de potassium (NO_2K) utilisé comme hypotenseur dans les hypertensions artérielles chroniques.
- Nitrate de potassium (KNO_3) : Salpêtre*, Nitre*, Sel de

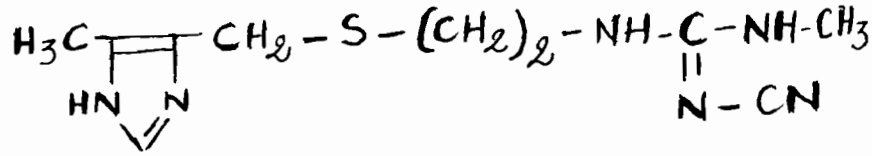
nitre utilisé comme diurétique.

- Nitrate de sodium ($NaNO_3$) : Salpêtre de chili utilisé comme diurétique.
- Le nitrate d'ammonium (NO_3NH_4) : utilisé dans le traitement des colibacilloses chroniques en rendant acides les urines [23].

Pour les composés nitrosables, nous avons les antagonistes des récepteurs H_2 de l'histamine (antiulcereux) [15].

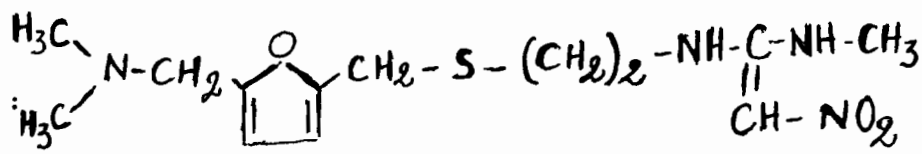
- La cimétidine (cycle imidazole) (Tagamet*, Edalène 800*)

Formule :



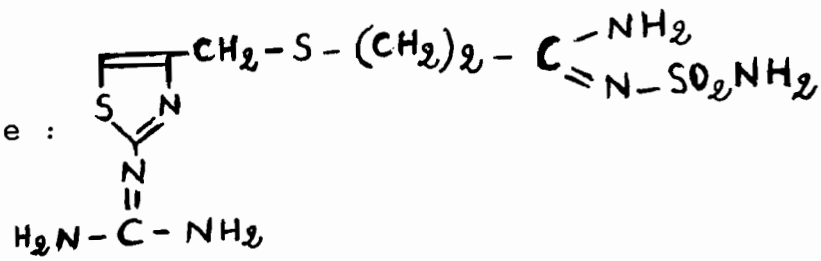
- La ranitidine (cycle furane)
(Raniplex* ; Azantac*)

Formule :



- La famotidine (cycle thiazole)

Formule :



- La pirenzepine (Gastrozépine*)

* : Nom de spécialité.

D E U X I E M E P A R T I E

TRAVAUX PERSONNELS

KOULOUBA
Sogonafing
Point G
Banconi
Sikoroni
Dialibougou
Korofina
Hippodrome
Koulouba
Mitsin
Médina Koura
Quinzambougou
Dar Salam
Bagadadji
Nitrin
Bolibana
Hamdallaye
Dravela
Bozola
BAMAKO
Bamako Koura
Timba Goun
Kono Goun
FLEUVE
NIGER
Magnambougou
Djanéguéla
Sokorodji
Sémé
Badalabougou
A
B
C
D
E
O
O:autres zones

CHAPITRE IV

MÉTHODES D'ANALYSES ET MATÉRIELS

Les analyses de sol, d'eaux et de légumes (laitues, choux et carottes) ont été effectuées au laboratoire des sols, plantes et eaux de sotuba.

Les échantillonnages ont été faits après une enquête préliminaire. Les échantillons proviennent de certaines zones maraichères à intenses activités. Ces zones du district de Bamako sont ainsi dénommées :

Zone A : Bakaribougou
Zone B : Djéliboougou
Zone C : N'golonina
Zone D : Ex-base
Zone E : Daoudabougou

Quelques analyses physiques et chimiques ont pu être effectuées pour les échantillons de sol. Il s'agit notamment :
- des dosages de l'azote total (NT), du phosphore total (PT) du phosphore assimilable (P_{Bray} (par la méthode de Bray))
- du dosage des ions tels que Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NO_3^-
- de la recherche de matières organiques (carbone C %)
- de la détermination de la capacité d'échange cationique (C.E.C)
- du pH et de la granulométrie (texture du sol).

Les échantillons de légumes ont fait l'objet du dosage des ions cités plus haut.

I. Matériels

* Fiches d'enquête pour les enquêtes préliminaires et échantillonnage des légumes (voir annexes IV, V).
* Matériels pour échantillonnage de sol et de légumes :
  - une tarrière ou une houe
  - des sachets en plastique
  - un marqueur
  - des étiquettes.
* Matériels pour séchage, broyage et stockage des échantillons :
  - des bassines en caoutchouc
  - un sechoir
  - un mortier et un pilon,
  - un tamis à mailles de 2 mm de diamère
  - un tamis à mailles de 0,1 mm de diamètre
  - des boîtes en caoutchouc
  - une broche.

Pour les échantillons de légumes, nous avons :
- un étuve : type Heraeus (Tamson 250°)

- une broyeuse type Tecator, cyclotec 1093 sample
- une soudeuse type J.T 234 , N°116.

* Matériel pour analyses chimiques et physiques :
  - un bloc digesteur
  - Pipette automatique
  - burette automatique
  - filtres et entonnoires
  - bechers, erlenmeyers, éprouvettes et tubes
  - Percolateurs
  - agitateur magnétique, réciproque (type ARANC N°242) et rotatoire (type Mini-shaker TOMSON)
  - spectrophotomètre d'Absorption Atomique type SAA PYE UNICAM SP9.
  - Autoanalyseur ™ II (Technicon™)
  - balance électrique type Mettler
  - spectrophotometre type GILFORD 300N ou B et L spectronic 100
  - Tubes de centrifugeuse
  - centrifugeuse
  - Resine a échangeuse d'ions
  - P^{H} mètre type PW 9420 (philips)
  - Titrimètre type 645 DOSIMAT.

II. Procédures

II.1. Enquête préliminaire

Elle a été faite auprès des maraîchers du 16 au 23 décembre 1990. Nous avons élaboré pour cela des fiches d'enquête (voir annexe N°1). Au cours de ces enquêtes, nous nous sommes renseignés

- sur les engrais utilisés,
- le temps d'exploitation,
- les légumes qui y sont cultivés.

II.2. Echantillonnage

II.2.1. Lieux

Nous l'avons effectué dans toutes les zones où l'enquête a été menée.

II.2.2. Prélèvements

II.2.2.1. Prélèvements de sol

Ils ont été faits à l'intérieur des planches. Dans ce cas, les résultats refletent l'état de fertilité de ces dernières.

Nous nous sommes intéressés aux 20 premiers centimètres du sol. C'est la zone de surface où les légumes choisis absorbent leurs éléments nutritifs.

Nous avons procédé par le système de prélèvement en zig-zag. Chaque échantillon représente la moyenne de 5 prélèvements qui

ont été faits en fonction de la texture du sol. C'est à dire que les 5 prélèvements proviennent d'un même type de sol.

Les mottes de terre prélevées sont mélangées entre elles suffisament. Ensuite, on y puise environ une masse d'un kilogramme. Cette dernière constitue l'échantillon de sol.

Le séchage se fait a l'air libre sur un sechoir.

II.2.2.2. Prélèvements de légumes

Les échantillons sont constitués par les légumes feuilles (laitues et choux) et les légumes racines (carottes).

3 à 4 pieds de laitues ou carottes sont prélevés sur la même planche ou sur toute la parcelle selon la volonté du jardinier. Le nombre de pieds de choux varie de 2 à 3 par planche ou par parcelle. Les échantillons ainsi prélevés sont conditionnés dans les sachets en plastique et transportés au laboratoire.

Signalons que chaque échantillon est accompagné d'une fiche d'enquête de renseignements (annexe N° II.). Les détails sur les enquêtes préliminaires et l'échantillonnage seront donnés dans les commentaires généraux.

II.3. Préparation des échantillons

II.3.1. Echantillons de sol

* Le séchage se fait à l'air libre. Les échantillons répartis dans les bassines sont placés sur un séchoir.

* Le broyage se fait avec un pilon et un mortier pour les argiles surtout. Les échantillons sont ensuite tamisés au tamis de 2 mm. Les cailloux et les graviers ainsi que les débris organiques grossières supérieures à 2 mm sont écartés.

La terre obtenue après ce tamisage est la terre fine. Elle servira pour les différents dosages chimiques et physiques sauf le carbone où la terre fine broyée est passée au tamis de 0,1 mm.

* Les poudres de terre sont conservées dans des boîtes en caoutchouc avec des étiquettes pour l'identification des échantillons.

II.3.2. Echantillons de légumes

Pour les légumes feuilles chaque pied représente un échantillon. C'est ainsi que quelques feuilles sont choisies par pied pour constituer l'échantillon final. Chaque racine représente un échantillon pour les carottes.

* Le séchage se fait à l'étuve à 75°C. Le temps de séchage dépend du volume de l'échantillon et du type de légume. Dans notre cas le temps varie de 48 à 72 heures.

* Après séchage, les échantillons sont broyés dans une broyeuse et séchés de nouveau à 75°C.

* Après ce dernier séchage, les poudres sont conservées dans des sachets secs et serviront pour les analyses.

III. Analyses physiques

Les méthodes d'analyse des sols sont nombreuses [12]. Les plus importantes pour notre étude sont :

III.1. Détermination du pH du sol

Le pH est déterminé par une méthode potentiométrique dans une suspension de terre. Comme solution, on utilise de l'eau distillée au 1M KCl (chlorure de potassium de concentration 1M).

La lecture est faite avec un pH-mètre type PW 9420 (philips)

III.2. Complexe absorbant : détermination de la capacité d'échange des cations (C.E.C.) et des bases échangeables

L'échantillon de sol pésé et mélangé à du sable est lessivé par une solution d'acétate d'ammonium de concentration 1M à pH 7. La quantité d'ammonium rétenu par le sol après lavage de l'excès d'acetate d'ammonium est une estimation de la capacité d'échange des cations (C.E.C.).

L'ammonium rétenu est liberé par percolation avec une solution de chlorure de sodium acidifiée, et ensuite déterminé par l'auto-analyseur.

Les bases échangéables (Na,K, Ca, Mg) seront déterminés dans le premier percolat ; Na et K à l'aide d'un spectromètre à flamme directement dans le percolat ; Ca et Mg par absoption atomique dans le percolat dilué à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (S.A.A.).

Notons que les quatre cations peuvent être dosés à l'aide du spectrophotomètre d'absorption atomique. Dans ce cas on n'utilise pas de lampe lors du dosage de Na et K.

III.3. Analyse granulométrique [11]

Son principe est le suivant :

L'analyse granulometrique a pour but de donner la composition élémentaire du sol en classant les particules minérales constituant les agrégats dans un certain nombre de fractions et en dosant la quantité des particules appartenant à chacune d'elles.

Cette opération nécessite au préalable la destruction des agrégats par dispersion des colloïdes floculés. La dispersion est obtenue par la destruction de la matière organique collant les

particules les unes aux autres, par addition d'une solution dispersante de pyrophosphate de sodium, et par agitation mécanique.

Les groupes de diamètre supérieur à 0,05 mm sont séparés à l'aide de tamis d'ouverture de mailles différentes et pesés. Pour les particules de diamètre inférieur à 0,05 mm les tamis ne sont plus efficaces. La séparation est basée sur la différence de dépôts dans l'eau des particules de diamètres différents.

Deux méthodes sont utilisées, l'une plus détaillée et l'autre simple :

- par la méthode détaillée on analyse les fractions suivantes :

  2,00 - 0,200 mm : sable grossier
  0,20 - 0,100 mm : sable fin
  0,10 - 0,050 mm : sable très fin
  0,05 - 0,020 mm : limon grossier
  0,02 - 0,002 mm : limon fin
  < 0,002 mm : argile

- par la méthode simplifiée on analyse les fractions ci-dessous :

  2,00 - 0,050 mm : sable
  0,05 - 0,002 mm : limon
  < 0,002 mm : argile

Les réactifs utilises sont l'eau oxygénée, H_2O_2 à 6% utilisée pour détruire la matière organique si le pourcentage de carbone organique est inférieur à 1%, et le pyrophosphate de sodium obtenu par dissolution de 20 g de $Na_4P_2O_7.1H_2O$ par litre.

IV. Analyses chimiques

IV.1. Détermination du carbone organique (méthode de Anne modifiée)

Le carbone dans le sol est oxydé par un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. L'excès de $K_2Cr_2O_7$ est dosé par une solution contenant Fe^{3+} (sous la forme de sel de Morh ou de sulfate de Fe). L'acide phosphorique est utilisé pour complexer l'ion Fe^{3+} afin d'obtenir un point de virage plus distinct. L'appareil utilisé est un titrimètre type 645 Dosimat.

IV.2. Détermination de l'azote total

Le sol est minéralisé par l'acide sulfurique concentré. La minéralisation se fait en présence d'un catalyseur et d'un stabilisateur sur une plaque chauffante (digesteur). Ainsi l'azote contenu dans la matière organique se transforme en sulfate d'ammonium. L'ammonium est déterminé à l'aide de l'autoanalyseur.

IV.3. Détermination du phosphore assimilable dans l'extrait HCl - NH_4F (Méthode de Bray)

Le sol est traité par une solution de KCl 0,1 M et de NH_4F 0,03 M puis on filtre. De cette façon, on extrait le phosphore soluble, une grande partie des phosphates liés au calcium, mais aussi une partie des phosphates d'aluminium et de fer par la formation de complexes avec les ions Al^{3+} en milieu acide. Dans l'extrait,le phosphore est déterminé sur l'autoanalyseur en mesurant l'intensité du complexe bleu-phosphomolybdique.

IV.4. Détermination du phosphore total

Le sol est minéralisé par l'acide de Fleishmann. Ici la minéralisation se fait dans le bloc digesteur. Dans le mineralisat, le phosphore est déterminé sur l'autoanalyseur.

IV.5. Dosage des nitrates dans le sol et les plantes

Avant de décrire ces méthodes, nous allons déterminer le spectre d'absorption des ions nitrates.

IV.5.1. Spectre d'absorption dans le visible (Fig. N°7)

Le spectre est obtenu avec une solution de nitrate de concentration fixe en application de la relation :

$$A=f(\lambda)$$

avec C = fixe = 2,5 ppm.

A = absorbance ; λ = longeur d'onde.

La lecture est faite au visible. Le maximum d'absorption se situant entre 410 et 430 nm. L'appareil est réglé à 80% Transmittance/0,10 Absorbance. Ceci nous paraît logique, puisque les maxima à 425 nm, et 410 nm sont classiquement attribués aux absorptions des groupements NO_3^- respectivement dans les solutions de sol et de végétaux et d'eaux.

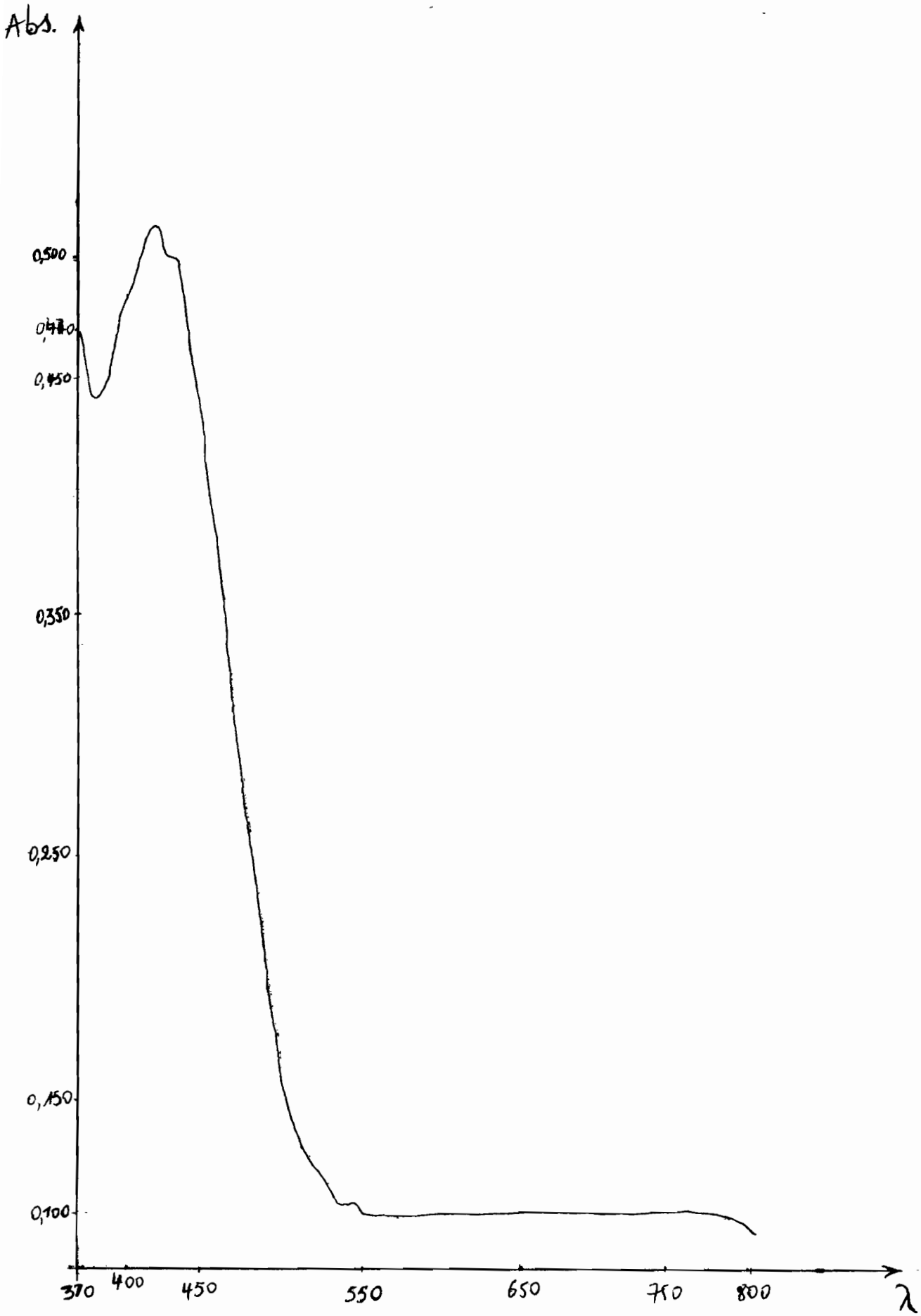
IV.5.2. Dosage des nitrates dans le sol

On dispose de diverses méthodes pour doser les nitrates présents dans l'environnement et dans les milieux biologiques. Nous avons ainsi quelques-unes d'entre elles :

- spectrophotomètrie après dévéloppement de la coloration soit par la brucine,
  soit par l'acide chromotropique ou par l'acide phénoldisulfirique,
- spectrofluorimétrie,
- potentiométrie (électrodes spécifiques des nitrates).

Nous avons adopté la première compte tenu des moyens disponibles.

ig: 7 Spectre d'absorption des ions nitratres



Abs : Absorbance

Avec le dévéloppement de la coloration par la brucine, nous avons plusieurs méthodes parmis lesquelles :

* La détermination des sels solubles de l'eau dans un extrait sol-eau de rapport 1/5 [2].

Son principe d'extraction est défini ci-dessous.

L'extrait clair est préparé, en agitant une partie de sol fin (diamètre < 2 mm) avec 5 parties d'eau distillée. Ajouter ensuite une solution de polyacrylamide et filtrer. Les filtrats colorés sont décolorés avec du charbon activé.

Dans les extraits on peut faire les déterminations suivantes P^H, K^+, Mg^{2+}, CO_3^{--}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{--}, et NO_3^-.

La lecture des valeurs en nitrates des solutions se fait à 425 nm.

* La méthode que nous avons utilisée est décrite dans le document [12].

Son principe est décrit ci-dessous.

En présence de l'acide sulfurique concentré, les ions NO_3^- réagissent avec la brucine pour former un nitrocomplexe jaune-orangé. Cette méthode a été modifiée en certains points notamment.

La mesure de l'absorbance à 420 nm au lieu de 740 nm qui est situé dans la zone proche de l'infra-rouge.

Nous avons considéré la valeur de l'absorbance au lieu de la transmittance.

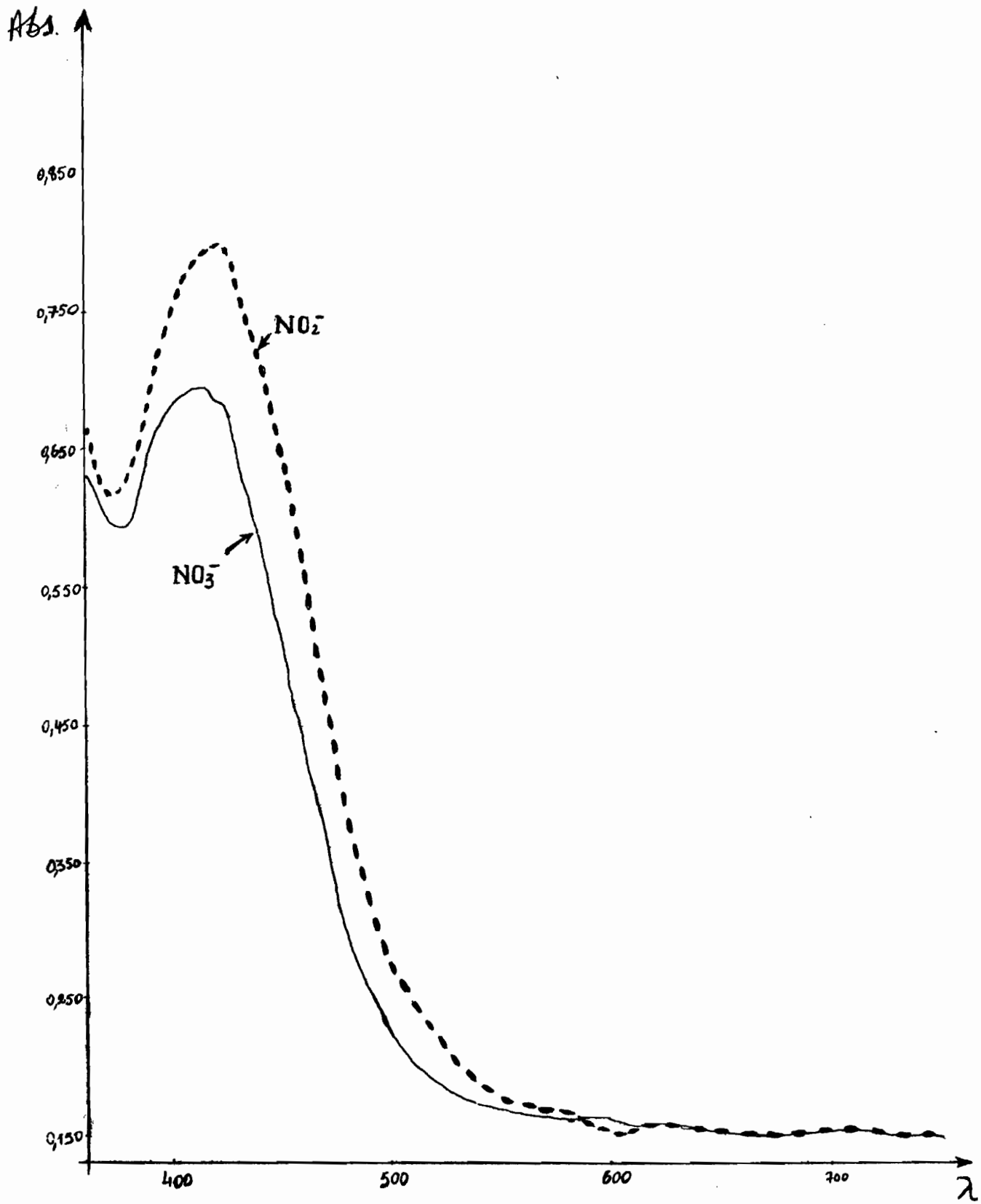
* <u>Matériel</u> :
  - spectronic 21 DU and DUV. Milton Roy,
  - fioles de 50 ml, 100 ml, 500 ml,
  - cuvettes en quartz.

* <u>Réactifs</u> :
  - Brucine à 2,5% : dissoudre 2,5 g de brucine dans 100 ml d'acide acétique P.A. Conserver à l'abri de la lumière. Manipuler ce réactif avec prudence en raison de sa toxicité.
  - Acide sulfurique concentré d = 1,84
  - Solution mère d'azote nitrique à 50 ppm : dissoudre 0,1805 g de KNO_3 dans 500ml de solution d'extraction. Ajouter 0,5 ml de chloroforme (préservateur).
  - Diluer la solution mère (0 - 20 µg N - NO_3 /ml)

Appliquer simultanement le même traitement à chaque série d'extraits de sol. Prendre une aliquote d'un ml de chaque solution étalon. Mésurer l'absorbance de ces solutions et tracer la courbe d'étalonnage sur papier millimetré. Porter les absorbances en ordonnée et les concentrations en abscisse.

* <u>Extraction</u> :
  - Solution d'extraction : dissoudre 100 g d'acétate de sodium dans 500 ml d'eau distillée. Ajouter 30 ml d'acide acétique à 99,58%. Porter à 1 litre avec l'eau distillée.

ig : 8 Spectres des ions NO_3^- et NO_2^-



Abs : Absorbance

- Extraction : Placer 5 g de sol dans une fiole et ajouter le quart du contenu d'une cuillère à thé (0,25 g) de charbon de bois activé. Instroduire 20 ml de la solution d'extraction. Secouer pendant une minute et filtrer.

* Mode Opératoire :

- Transvaser une aliquote d'un ml de l'extrait de sol dans une fiole et commencer à mélanger.
- Ajouter 0,5 ml de brucine, puis verser rapidement 2 ml d'acide sulfurique.
- Mélanger pendant 30 sécondes. Laisser réposer 5 minutes.
- Agiter une nouvelle fois et ajouter 2 ml d'eau distillée.
- Sécouer pendant 30 sécondes.

Pour un grand nombre d'échantillons, le premier sera mis à réposer pendant l'introduction de l'acide sulfurique dans toutes les fioles. L'addition d'eau n'aura lieu qu'après la fin de cette opération.

Plonger les fioles dans l'eau froide pendant 5 minutes ou laisser refroidir 15 minutes à la température ambiante.

Effectuer les lectures au spectronic 21 DU à la longueur d'onde de 420 nm.

Remarque :

Cette méthode est simple, rapide et fiable. Les ions les plus fréquemment rencontrés dans le sol n'interfèrent pas sur les résultats.

Les résultats comprennent l'azote nitrique et partiellement l'azote nitreux. Cela se comprend quand on sait que le nitro-complexe jaune-orangé est obtenu par réaction de diazotation. La réaction se fait par action des ions nitrates avec la brucine en présence d'acide sulfurique concentré. Les ions nitreux (NO_2^-) donnent le même complexe avec ces réactifs. En plus les ions NO_2^- sont issus des nitrates (NO_3^-) par réduction.

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^-$$

Nous avons ainsi la réaction simplifiée de la formation du nitrocomplexe.

$$\text{brucine } (C_{23}H_{26}NO_2O_4) + \text{ ou } \begin{matrix} NO_3^- \\ NO_2^- \end{matrix} \longrightarrow \text{nitrocomplexe}$$

Les spectres obténus avec les deux ions sont présentés par la figure N°8 qui suit.

Les maxima d'absorption de ces ions se situent dans la même zone.

IV.5.3. Dosage des nitrates dans les plantes

D'une manière générale, elles peuvent être sémi quantitatives avec des tests rapides sur les tissus ou totalement quantitatives.

L'analyse semi-quantitative, principalement utilisée pour les nitrates mesure les produits non assimulés contenus dans la sève de la plante. Ces produits sont en cours de migration de leur point d'entrée dans la plante vers le site de leur utilisation. Quoique les tests de tissus ne permettent pas de déterminations précises, ils peuvent être un moyen efficace de persuader les cultivateurs de l'existence de carence alimentaire. C'est à ce stade de la circulation de la sève brute que l'on peut rencontrer les ions nitrates dans la plante.

L'analyse quantitative totale mesure à la fois les éléments déjà incorporés dans les tissus végétaux et ceux qui ne sont encore qu'en solutions dans la sève.

La détermination peut être réalisée par n'importe laquelle des nombreuses methodes de complexité variée telles que :

- la gravimétrie,
- la colorimétrie,
- la photographie aux rayons X,
- la potentiométrie.

Notons que la détermination des cations et des autres éléments minéraux dans les plantes se fait par minéralisation de la matière sèche avec l'acide sulfurique concentré et l'eau oxygénée en présence d'un catalyseur.

Nous avons utilisé la méthode par colorimètrie pour l'analyse de nos échantillons de légumes.

Détermination par colorimétrie des nitrates dans les plantes

a. Matériel

- spectrophotomètre type GILFORD 300N ou B et L spectronic 100 équipé d'une cuvette à échantillonnage (épaisseur 1cm) ou de tubes.
- Centrifugeuse SORVALL type Sorvall "Superspeed" S ou SS3.
- tubes de centrifugeuse en polyéthylène de 15ml.
- Erlemeyer de 50ml
- Etuve.

b. Réactifs

1. Solution d'acide sulfurique concentré P.A. à 5% (poids/volume). Dissoudre 5 g d'acide salicylique dans 100 ml d'acide sulfurique concentré (conserver dans un flacon brun et rénouveller toutes les semaines).

2. NaOH 2N :

Dissoudre 80 g de NaOH dans 1000 ml d'eau distillée

3. Solution-mère étalon d'azote nitrique à 250 ppm. Conserver à 40°C. Dissoudre 0,3388 g de $NaNO_3$ dans un litre d'eau distillée.

4. Gamme étalon d'azote nitrique 0 à 200 ppm.
5. Eau déionisée.

c. Mode Opératoire

* Extraction

- Broyer l'échantillon de plante (maïs ou autre végétal) préalablement séché à l'étuve ou lyophilisé ; le broyat est mis à sécher une nouvelle fois à 75°C.
- Peser 100 mg de poudre végétale dans un tube de centrifugeuse de 15 ml et ajouter 10 ml d'eau déionisée.
- Etuver les suspensions pendant une heure à 45°C
- Agiter les suspensions et centrifuger à 5000 T/mn pendant 15 minutes.

Nous avons procédé par une filtration à travers des filtres fins. Transvaser le liquide clair dans une fiole en verre et conserver pour le dosage des nitrates.

Une autre méthode consiste à homogénéiser le matériel frais dans l'eau ou dans un tampon phosphate (1g de matière végétale pour 6 ml de liquide). Filtrer, centrifuger les filtrats à 30.000T/mn pendant 15 mn. Le liquide surnageant clair est conservé pour analyse des nitrates.

* Dosage des nitrates par colorimetrie

- Introduire à la pipette 0,2 ml de l'extrait dans un erlemmeyer de 50 ml contenant 0,8 ml de réactif acide salicylique - acide sulfurique. Bien agiter, laisser réposer 20 mn jusqu'au démarrage de la réaction.
- Ajouter lentement 19 ml de la solution de NaOH 2N. A cette fin, utiliser de préférence une pipette automatique ("repipette") (Lab Industrie Inc Berkeley California, U.S.A). On amenera le pH à une valeur supérieure à 12.
- Laisser refroidir à température ambiante et déterminer l'absorbance à 410 nm.
- Les solutions étalons contenant de 0 à 200 µg/l de N - NO_3 dans une aliquote de 0,2 ml sont analysées parallèlement à chaque serie d'échantillons.

L'essai à blanc comprendra, outre le réactif acide salicylique-acide sulfurique et NaOH 2N, 0,2 ml.

Remarque :

- Dans le cas d'extraits à l'état frais, leur coloration rend indispensable la préparation de solution à blanc distincte. Chaque "essai à blanc" sera composé de 0,8 ml de H_2SO_4 concentré (sans acide salicylique) et de 19 ml de NaOH 2N.
- Exprimer la teneur en nitrate en µg de N - NO_3 (ppm)/g de matière sèche ou humide.
- Cette méthode peut être appliquée au dosage des nitrates dans les eaux.

Tableau a

Résultats des analyses de sol : Valeurs physiques

Zo.	NE	pH		CEC	C/N	Granulométrie			
		pH_{H2O}	pH_{KCl}			SA %	LI %	AR %	CT
A	1	6,87	6,46	6,93	5,08	52,9	43,4	3,7	2
	2	6,92	6,42	7,70	5,48	37,5	60,1	2,4	8
	3	6,84	6,30	8,67	4,85	52,0	44,3	3,7	2
	4	7,03	6,52	8,09	6,15	47,2	50,7	2,2	8
	5	7,12	6,64	7,70	7,30	53,0	44,1	2,8	2
B	6	6,83	6,51	6,35	5,92	64,0	33,7	2,2	2
	7	6,42	5,99	2,11	4,25	60,4	35,1	4,6	2
	8	6,52	6,12	4,62	6,10	56,5	39,9	3,6	2
	9	6,01	5,70	3,85	5,40	50,9	45,5	3,6	2
	10	6,03	5,62	3,46	7,42	58,3	38,0	3,7	2
	11	5,80	5,26	5,00	4,44	40,9	53,8	5,3	8
	12	6,62	6,25	6,74	2,78	29,9	66,0	4,2	8
C	13	7,30	6,76	11,17	6,81	44,1	48,4	7,6	8
	14	6,72	6,55	7,89	5,48	57,2	36,4	6,4	2
	15	5,64	5,13	15,41	6,90	19,5	69,6	10,9	8
	16	6,88	5,56	11,56	10,52	49,3	46,9	3,8	2
	17	6,92	6,48	12,33	8,22	43,3	49,6	7,2	8
	18	6,84	6,50	7,75	7,81	39,2	52,0	8,9	8
	19	7,23	6,88	8,50	7,48	37,4	50,5	12,1	8
D	20	6,46	6,25	6,61	5,64	57,0	39,0	4,0	2
	21	6,00	5,61	6,80	6,61	52,2	42,1	5,7	2
	22	6,80	6,60	6,99	5,92	61,2	35,0	3,8	2
E	23	5,48	5,17	8,28	6,94	58,0	37,9	4,0	2
	24	6,52	5,18	9,44	6,68	44,8	48,8	6,4	8
	25	7,36	6,87	4,62	6,18	50,5	42,7	6,8	2
	26	7,40	6,89	4,62	5,68	20,0	76,6	3,4	8
	27	7,08	6,74	5,29	5,00	49,8	44,7	5,5	2
	28	7,06	6,63	8,12	9,10	54,0	38,5	7,5	2
	29	6,31	6,00	9,82	6,94	17,1	79,1	3,8	8
	30	5,60	5,03	9,45	6,64	30,6	61,7	7,7	8
	31	6,32	6,10	7,37	4,81	42,6	54,3	3,0	8

Zo : Zones

NE : numéros Echantillons

SA : Sable

LI : Limon

AR : Argile

CT : Classe Texturale

CHAPITRE V

RESULTATS ET COMMENTAIRES

A- RESULTATS

I. Resultats des analyses de sol

I.I. Valeurs chimiques et physiques des sols maraichers

Quelques éléments fertilisants ont pu être dosés en plus de quelques déterminations physiques. Ceux-ci ne feront pas l'objet de commentaire détaillé. Ces valeurs nous permettent de connaître l'état de fertilité des sols maraîchers en ces éléments. Pour cela nous présentons ici les moyennes des teneurs (tableau N°5). Les résultats globaux étant présentés dans les tableaux a et b

La zone C où les ordures menagères sont beaucoup utilisées présente les teneurs les plus élevées en éléments fertilisants. Seule la teneur moyenne du phosphore assimilable est inférieure en zone C par rapport à celles des autres zones. Cette différence est peut être due au temps d'exploitation .

Cette zone reste donc toujours surfertilisée à cause de l'apport continu de grandes quantités d'ordures menagères.

Certains éléments augmentent avec le temps d'exploitation. Il s'agit du phosphore total et du calcium.

Les résultats des analyses de sol donnent des valeurs nettement superieures aux moyennes nationales. Nos résultats concordent d'ailleurs avec ceux d'une étude faite sur la fertilité des sols maraîchers dans la ville de Bamako [1].

La minéralisation est très rapide C/N = 6,5 (C/N < 8 très rapide).

Le pH, d'une manière générale, est neutre. Il est legèrement acide en zones B et E.

Tableau : b

RESULTATS DES ANALYSES DE SOL : téneurs des échantillons éléments minéraux (meq/100g)

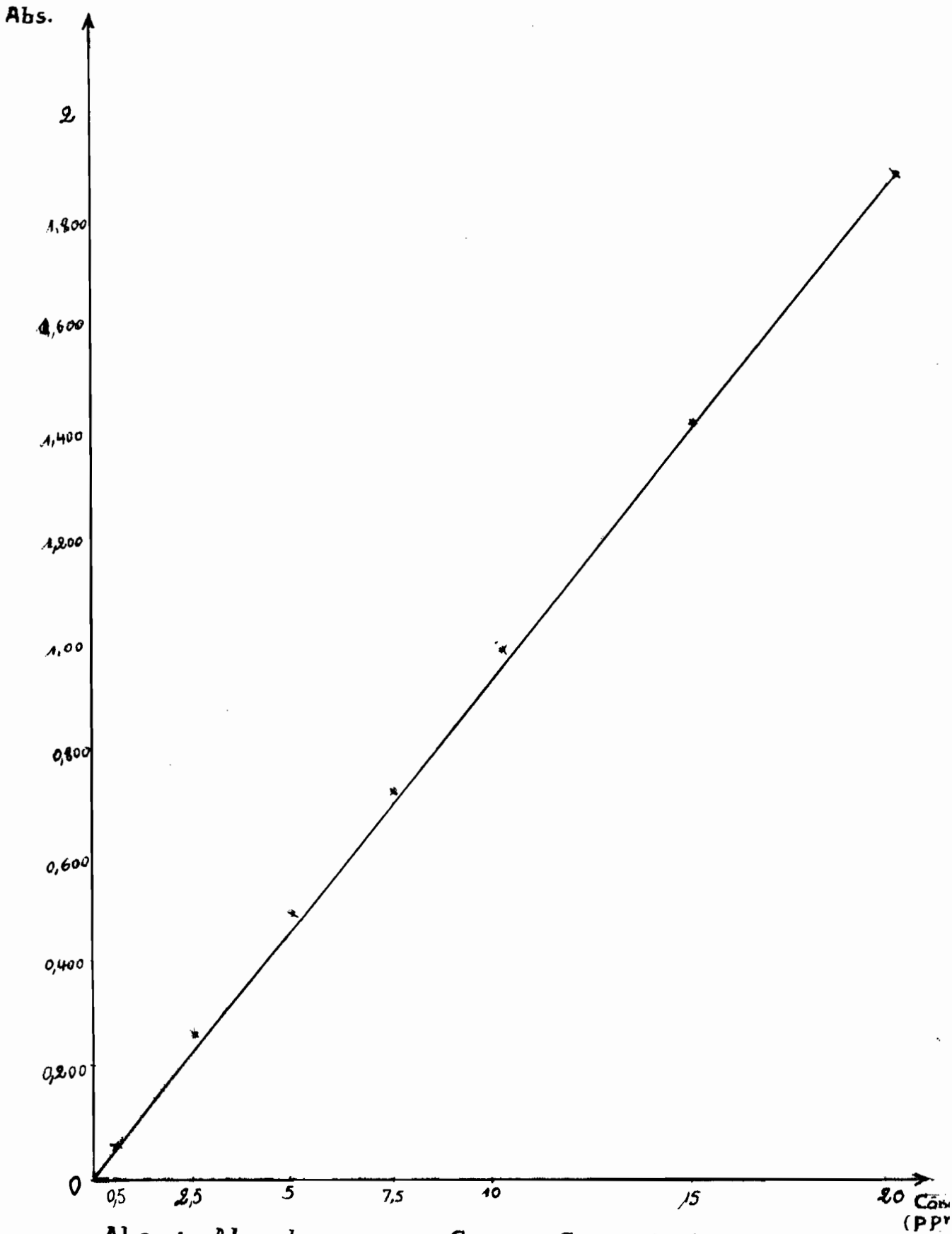
Zones	N° Ech.	N_t en %	P_t en ppm	P_{Bray} en ppm	Ca	Mg	Na	K
	1	0,12	506,55	258,14	7,89	1,06	0,91	0,64
	2	0,13	595,08	253,69	8,89	1,21	0,88	0,60
A	3	0,19	590,16	391,67	10,56	1,66	0,95	0,47
	4	0,13	506,55	302,65	10,29	1,17	0,95	0,62
	5	0,12	511,47	284,85	10,29	1,48	1,09	0,43
	6	0,14	452,45	231,34	6,28	2,17	1,05	0,89
	7	0,08	167,21	53,10	3,67	1,35	0,91	0,62
	8	0,10	280,32	62,31	4,54	1,48	0,84	0,74
B	9	0,10	304,91	169,13	4,14	1,62	0,88	0,77
	10	0,07	270,49	173,58	3,74	1,25	0,81	0,79
	11	0,09	250,80	70,13	4,01	1,32	0,74	0,72
	12	0,19	363,93	137,97	7,22	1,72	1,09	0,77
	13	0,16	654,09	80,11	14,24	3,79	1,48	0,89
	14	0,15	698,36	115,72	9,96	2,11	1,80	1,08
	15	0,20	1386,88	7,70	8,02	2,41	2,61	1,17
C	16	0,17	2213,11	97,91	12,30	2,22	1,02	0,68
	17	0,18	1829,50	169,13	13,77	2,41	1,51	1,06
	18	0,16	737,70	204,13	9,68	1,96	1,33	1,24
	19	0,15	713,11	49,45	11,70	2,63	1,64	1,26
	20	0,17	555,73	151,32	6,28	2,65	0,31	1,33
D	21	0,13	477,04	240,34	4,41	2,36	0,31	0,99
	22	0,13	403,27	275,95	7,15	2,38	0,66	1,09
	23	0,17	875,40	338,26	3,54	0,58	0,81	0,11
	24	0,16	565,57	173,58	8,02	1,69	0,98	0,47
	25	0,12	521,31	129,07	10,02	1,96	0,88	0,68
	26	0,12	501,63	151,32	9,76	1,30	0,23	0,68
E	27	0,09	319,67	249,24	6,14	1,13	0,80	0,78
	28	0,10	506,55	133,52	8,45	1,86	0,45	1,13
	29	0,17	688,52	120,17	8,02	2,75	0,49	0,82
	30	0,14	575,40	142,42	5,63	2,37	0,52	1,11
	31	0,16	472,13	289,30	6,57	2,81	0,49	1,13

TABLEAU N°5 : Teneurs moyennes des éléments fertilisants et certaines valeurs physiques dans les échantillons de sol selon les zones.

Zones / Eléments	A 25 ans	B 7 ans	C plus de 25 ans	D 25 ans	E plus de 10 ans	Moy. du total
pH_2O	6,95	6,30	6,79	6,57	6,42	6,60
Carbone (C %)	0,78	0,53	1,24	0,98	0,88	0,87
Azote total (N_T %)	0,14	0,11	0,19	0,14	0,14	0,14
Vitesse de minéralisation. (C/N)	5,79	5,18	7,60	6,44	6,05	6,50
Phosphore total (P_T) en ppm	541,96	298,58	1146,10	575,07	478,68	628,80
Phosphore assimilable. (P. Bray) en ppm	298,20	128,23	103,53	190,87	222,53	174,51
Calcium (Ca^{2+})	9,58	4,65	11,38	7,35	5,94	7,84
Magnésium (Mg^{2+})	1,43	1,55	2,50	1,82	2,48	1,90
Potassium (K^+)	0,55	0,75	1,05	0,78	1,13	0,83
Sodium (Na^+)	0,95	0,90	1,62	0,73	0,42	0,98
Capacité d'echange cationique (C.E.C.)	7,81	4,85	10,85	7,44	6,80	7,52
Granulométrie.	limon sabl.	limon sabl.	limon fin arg.	limon fin arg.	limon sabl.	

sabl. : sableux
arg. : argileux
Moy. : moyenne

ig: 9 Droite d'étalonnage issue du tableau n°6



Abs. : Absorbance , Conc. : Concentration

I.2. Teneurs en nitrates des échantillons de sol

I.2.1. Etablissement de la droite d'étalonnage

Cette droite est obtenue à partir des points de gamme en application de la rélation :

A = f(C)
A = absorbance
C = concentration connue des differents points de la gamme

La lecture est faite à 420 nm à la sensibilité basse de l'appareil. La droite est linéaire avec les téneurs de 0 à 20 ppm.

TABLEAU N°6 : Absorbance et concentration des points de la gamme.

Concentration en ppm	0,0	0,5	2,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0
Absorbances	0,0	0,06	0,28	0,5	0,73	1,01	1,43	1,9

La droite d'étalonnage est représentée par la fig. N°9 avec en abscisse les concentrations et les absorbances en ordonnée.

I.2.2. Teneurs en nitrates (en ppm)

Ces teneurs sont présentées dans le tableau N°7.

Nous n'avons pas à notre disposition des normes d'interprétation des teneurs en nitrates dans les sols pour la méthode utilisée.

Néanmoins, nous allons prendre 10 ppm comme teneur moyenne des nitrates dans le sol. Nous nous réferons à des études faites en côte d'Ivoire où cette valeur a été trouvée dans le sol en fin de saison sèche et début hivernage [32]. En plus, c'est une valeur limite admise dans les eaux et le sol.

Dans ce tableau, les zones A et B présentent les téneurs moyennes inférieures à celles des autres zones. La zone D présente la teneur moyenne la plus élevée.

L'échantillon N°15 provenant d'une parcelle non exploitée présente des traces de nitrates. Ceci prouve que la présence de nitrate dans le sol est due surtout à l'apport d'engrais.

Les échantillons N°18 et 19 proviennent d'un champ de gombo (Hibiscus esculentus) où ces légumes présentaient des signes de toxicité car ils séchaient (brûlure de feuilles). Ce jardinier avait fait un apport d'urée en plus de la fumure organique.

Cette toxicité est peut être due à la quantité d'urée épandue dans le champ. Cet apport en plus de la fumure organique peut élever la téneur en nitrate . L'absorption des ions nitrates peut s'accompagner d'une acidité du milieu extérieur qui est nuisible pour d'autres plantes.

Les teneurs sont relativement basses dans les échantillons suivants :

Zone A : échantillon N°5
Zone B : échantillons N°6, 7, 9, 11, 12.
Zone C : échantillons N°13 et 14
Zone E : échantillon N°23 qui présente la teneur la plus faible de l'ensemble des échantillons.

Les teneurs élevées se rencontrent dans les échantillons suivants :

Zone C : échantillons N°16, 18, 19.
Zone E : échantillons N°20, 21, 22, 26, 28.
Zone D : échantillons N°29, 30 et 31.

Ces variations sont liées à plusieurs facteurs tels que l'attitude du jardinier, le type de sol, la mobilité de l'azote et le mode d'apport.

Compte tenu de ces facteurs, il sera difficile de faire une correlation entre les variations des teneurs en nitrates et la durée d'exploitation des parcelles.

TABLEAU N°7 : Teneurs en nitrates des échantillons de sol.

Zones	Numéros échantillons	Absorbances	Teneurs en ppm	Moyennes teneurs en ppm
A	1	1,12	11,700	10,635
	2	1,08	11,250	
	3	1,07	11,125	
	4	0,99	10,350	
	5	0,840	8,750	
B	6	0,89	9,180	9,147
	7	0,61	6,360	
	8	1,01	10,500	
	9	0,840	8,750	
	10	1,22	12,680	
	11	0,680	7,090	
	12	0,93	9,680	
C	13	0,710	7,410	11,117
	14	0,820	8,500	
	15	0,09	traces	
	16	1,56	16,180	
	17	1,19	12,380	
	18	1,50	15,705	
	19	1,0 D2f	20,814	
E	20	1,56	16,180	12,551
	21	1,40	14,500	
	22	1,40	14,500	
	23	0,48	5,000	
	24	1,21	12,590	
	25	1,18	12,207	
	26	1,72	17,500	
	27	1,00	10,407	
	28	1,32	13,680	
D	29	1,48	15,380	15,990
	30	1,86	19,500	
	31	1,26	13,090	

D2f : dilué deux fois.
L'échantillon n°15 provient d'une parcelle non exploitée.

Tableau c TENEURS EN Na-K-Ca-Mg DES ECHANTILLONS DE LAITUES EN % DE MATIERES SECHES.

(suite)

Zones	Numéros jardiniers	Numéros échantillons	Na	K	Ca	Mg
C	1	30	0,195	12,543	0,826	2,124
		31	0,174	12,765	0,740	1,929
		32	0,141	13,205	2,336	2,196
D	1	33	0,162	11,655	1,702	2,577
		34	0,150	12,543	1,742	2,685
	2	35	0,153	10,985	0,651	1,980
		36	0,145	9,504	0,481	1,532
		37	0,199	9,696	0,487	1,794
E	1	38	0,178	11,232	0,765	2,311
		39	0,217	10,276	0,484	2,372
		40	0,235	9,928	0,374	2,284
	2	41	0,939	9,696	1,938	2,983
		42	0,228	9,312	0,678	2,923
	3	43	0,199	9,120	0,675	2,553
		44	0,127	11,232	0,826	2,264
		45	0,160	11,254	1,724	1,727
		46	0,142	9,504	0,571	2,103
		47	0,120	8,736	0,352	1,747
	4	48	0,153	9,120	0,471	1,444
		49	0,120	9,504	0,490	1,592
		50	0,156	9,888	0,429	2,042
	5	51	0,109	9,120	0,452	1,881
		52	0,138	9,120	0,448	1,861
		53	0,189	10,656	0,804	2,264
		54	0,207	11,424	0,804	2,580
	6	55	0,171	11,232	0,639	1,888
		56	0,171	9,626	0,923	1,881
		57	0,178	9,120	0,536	2,083
		58	0,174	9,504	0,523	2,466
	7	59	0,225	11,040	0,629	2,634
		60	0,196	8,352	0,544	2,009
		61	0,145	8,160	0,604	1,659

Tableau : d TENEURS EN Na-K-Ca-Mg DES ECHANTILLONS DE CAROTTES EN % DE MATIERE SECHE.

Zones	N° jard.	N° éch.	Na	K	Ca	Mg
Bakaribougou A	1	1	1,112	2,352	0,545	1,075
		2	1,134	2,736	0,584	1,155
		3	1,285	2,416	0,742	0,866
		4	1,393	2,864	0,584	0,960
	2	5	0,250	3,056	0,458	1,088
		6	0,239	3,056	0,364	0,967
		7	1,069	2,864	0,374	1,041
		8	1,155	2,608	0,490	0,994
		9	0,279	2,928	0,448	1,216
	3	10	1,047	2,640	0,468	0,981
		11	1,004	2,704	0,500	1,048
		12	1,177	2,544	0,465	0,893
		13	1,436	2,480	0,574	0,927
		14	1,198	2,512	0,503	0,725
	4	15	1,134	2,672	0,442	0,940
		16	0,286	2,512	0,513	1,249
		17	0,307	2,640	0,503	1,095
		18	1,652	2,480	0,526	1,196
		19	0,982	3,120	0,384	1,001
Djélibougou B	1	20	0,918	2,928	0,497	1,115
		21	0,304	2,960	0,384	1,189
		22	0,853	2,832	0,348	0,920
		23	0,896	9,888	0,562	1,135

jard. : jardiniers.
éch. : échantillons.

Tableau d (suite) TENEURS EN Na-K-Ca-Mg DES ECHANTILLONS DE CAROTTES EN % DE MATIERE SECHE.

Zones	N° jard.	N° éch.	Na	K	Ca	Mg
Djélibougou B	2	24	0,268	2,576	0,335	1,169
		25	1,090	2,512	0,429	0,799
		26	0,831	3,088	0,364	1,122
		27	0,271	2,864	0,361	1,048
		28	0,257	2,704	0,326	0,974
	3	29	0,153	2,640	0,507	1,008
		30	1,630	2,032	0,406	0,967
		31	1,155	2,480	0,568	0,833
		32	0,307	2,608	0,629	1,155
	4	33	0,279	2,992	0,445	1,612
		34	0,300	7,776	0,397	1,088
		35	0,777	10,101	0,463	1,879
		36	1,317	10,545	0,433	1,260
	5	37	0,195	8,990	0,513	1,519
		38	0,168	3,089	0,661	1,389
		39	0,712	9,875	0,433	1,231
		40	0,168	2,793	0,381	1,245
	6	41	0,885	10,545	0,499	1,339
		42	0,144	10,101	0,476	1,461
		43	0,168	10,323	0,424	1,958
		44	0,144	9,657	0,447	1,670
Daoudabougou E	1	45	0,147	9,657	0,417	1,764
		46	0,108	9,875	0,414	1,339
		47	0,096	3,237	0,387	1,332
		48	0,177	3,274	0,433	0,950

Tableau : e TENEURS EN Na-K-Ca-Mg DES ECHANTILLONS DE CHOUX EN % DE MATIERE SECHE.

Zones	N° jard.	N° éch.	Na	K	Ca	Mg
Djélibougou B	1	1	0,117	3,015	0,351	1,360
		2	0,114	3,052	0,361	1,533
N'Golonina C	1	3	0,105	2,719	0,546	1,152
		4	0,159	3,089	0,506	1,476
	2	5	0,123	2,719	0,631	1,108
		6	0,132	2,608	0,645	1,044
	3	7	0,102	2,941	0,694	1,245
		8	0,198	2,460	0,453	1,186
	4	9	0,159	3,200	0,447	1,303
		10	0,102	2,867	0,651	0,950
	5	11	0,712	2,941	0,595	1,080
		12	0,928	2,830	0,813	1,836
Ex-Base D	1	13	0,060	2,941	0,572	0,993
		14	0,069	2,756	0,493	0,878
		15	0,138	2,904	0,598	1,065
Daoudabougou E	1	16	0,117	3,126	0,833	1,828
		17	0,075	2,867	0,559	1,144
	2	18	0,054	3,126	0,806	1,512
		19	0,042	2,941	0,684	1,296

jard. : jardiniers
éch. : échantillons

II. Résultats des analyses de légumes (laitues-choux-carottes)

II.1. Teneurs moyennes en cations des légumes (en %)

Nous allons présenter les téneurs moyennes. Les résultats détaillés sont présentés dans les tableaux c, d, e

II.1.1. Variation des teneurs moyennes selon les légumes

TABLEAU N°8 : Teneurs moyennes des cations dans les légumes

Légumes \ Eléments	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Laitues	0,272	11,929	1,127	2,286
Choux	0,184	2,903	0,551	1,282
Carottes	0,648	4,502	0,486	1,643

Les carottes contiennent plus de sodium que les laitues et les choux. Carottes > laitues > choux.

Les laitues contiennent plus de potassium (2 à 5 fois), de calcium et de magnésium que les deux autres. Ainsi nous avons les ordres suivants : K^+ : laitues > carottes > choux
Ca^{2+} : laitues > choux > carottes
Mg^{2+} : laitues > carottes > choux

Donc nous pouvons conclure que les teneurs varient selon le type de légume.

II.1.2. Variation des téneurs selon les zones

TABLEAU N°9.1 : Variation dans les laitues

Zones \ Eléments	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
A	0,384	10,837	1,649	2,557
B	0,270	12,411	1,077	2,303
C	0,170	12,837	1,300	2,083
D	0,160	10,876	1,012	2,113
E	0,204	12,626	0,695	2,147

Les valeurs sont presque homogènes pour un même élément dans les zones. Cette homogénéité est nette surtout avec le magnésium, seul le sodium fait exception avec des écarts plus marqués.

TABLEAU N°9.2. : Variation dans les choux

Zones \ Eléments	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
B	0,117	3,033	0,356	1,446
C	0,226	2,845	0,557	1,272
D	0,089	2,867	0,554	0,948
E	0,072	3,015	0,720	1,145

Des écarts notables sont constatés avec Na^+. Mais les teneurs sont presque homogènes avec les autres éléments.

TABLEAU N°9.3. Variation dans les carottes :

Zones \ Eléments	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
A	0,954	2,653	0,458	1,021
B	0,595	5,555	0,451	1,243
E	0,132	6,510	0,412	1,346

Les écarts notables sont constatés avec Na^+ et K^+. Les valeurs du Ca^{2+} et du Mg^{2+} sont presque homogènes.

Ces résultats prouvent que les systèmes de fertilisations sont les mêmes dans toutes les zones. Les légumes absorbent certains éléments en grande quantité par rapport à d'autres. Na^+ et K^+ varient beaucoup plus par rapport aux autres cations.

II.2. Teneurs en nitrates des légumes

II.2.1. Etablissement de la droite d'étalonnage

Cette droite est obtenue en application de la formule suivante : A = f(C)

A = Absorbance

C = concentration des différents points de la gamme en ppm.

La lecture est faite à une longueur d'onde fixe = 410 nm

La droite est linéaire avec les valeurs allant de 0 à 200 ppm.

Les concentrations et les absorbances des points de la gamme sont présentées dans le tableau N°10.

TABLEAU N°10 : Concentrations (en ppm) et absorbances des points de la gamme d'étalonnage

Concentrations en ppm	0	20	40	60	80	100	150	200
Absorbance	0,0	0,06	0,14	0,2	0,25	0,32	0,47	0,63

La droite est représentée par la figure N°10 avec les concentrations en abscisse et les absorbances en ordonnée.

II.2.2. Résultats des teneurs en nitrate de chaque légume

En plus des teneurs, nous allons indiquer les types d'engrais utilisés.

II.2.2.1. Teneurs en nitrates des laitues

Les teneurs sont présentées dans le tableau N°11. Nos résultats seront appréciés en nous referant à la limite fixée par le comité mixte OMS/FAO. Elle est de 75 ppm dans les aliments.

Il ressort de ce tableau que les deux types d'engrais sont utilisés pour la culture des laitues. On rencontre cette pratique surtout en zone A et B. La fumure organique est seulement utilisée dans les zones C, D et E. Les laitues ainsi traitées contiennent des quantités importantes de nitrates.

Nous avons des variations de teneurs chez le même jardinier. Ces variations sont très nettes chez le jardinier N°3 (zone E). On rencontre les teneurs les plus faibles chez le jardinier N°4 (zone A) et dans l'échantillon N°46 (zone E). Ce sont les seules teneurs inférieures à 75 ppm.

Les écarts sont faibles ou nuls chez certains jardiniers. C'est le cas par exemple des jardiniers N°1 (zone B) et des jardiniers N°5,6 (zone E). Ceci nous amène à dire que les téneurs varient selon les échantillons et les jardiniers.

L'apport des deux types d'engrais ou de la seule fumure organique semble n'avoir aucune incidence sur la teneur en nitrate dans les laitues. Nous avons pour cela les variations des teneurs dans les zones suivantes :

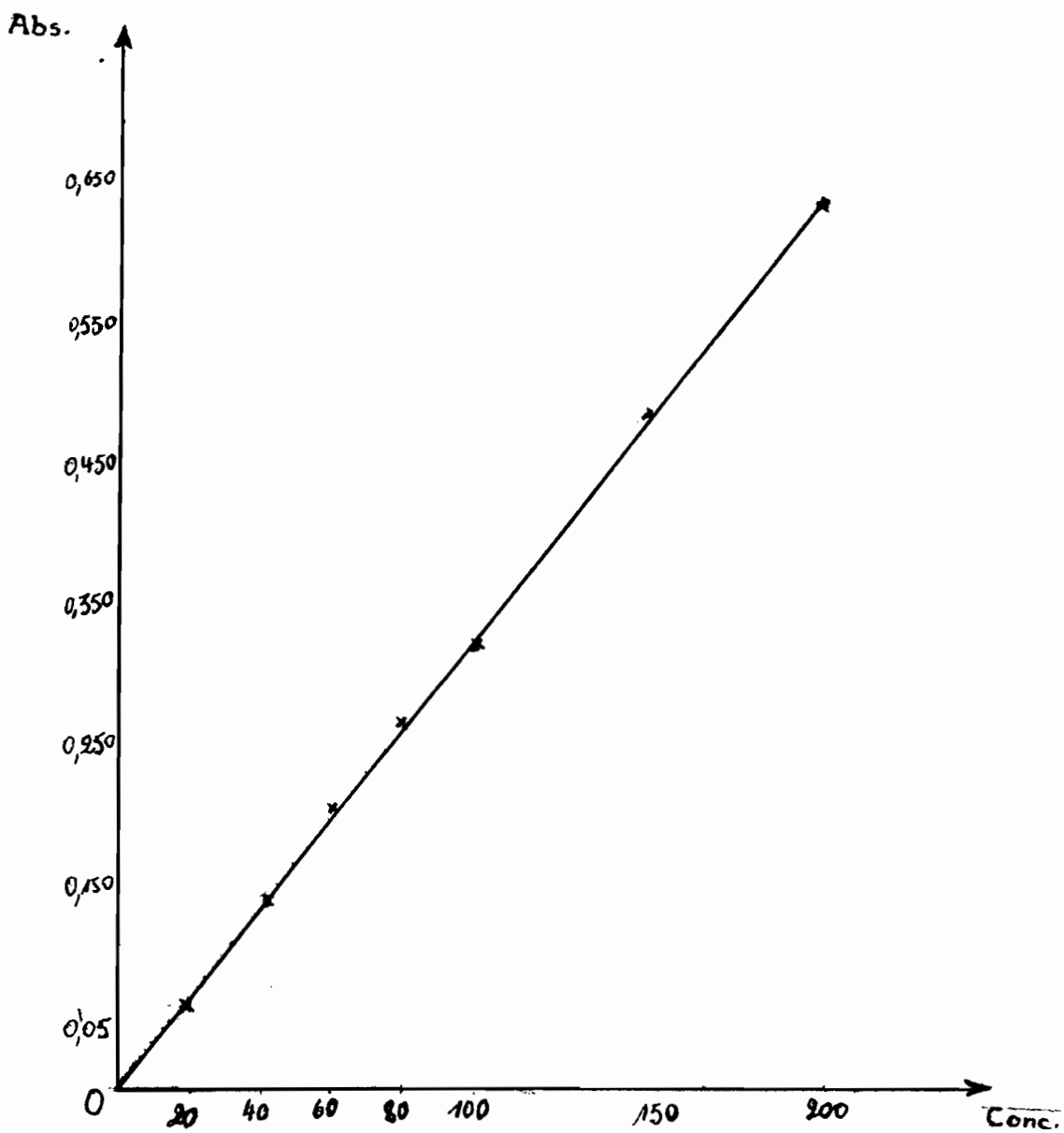
Zone A : 38 ppm à 277 ppm
Zone E : 49,50 ppm a 375 ppm

Il en est de même que le nombre de fois de l'apport de la fumure organique. Nous citons comme exemple ici les cas des jardiniers N°4 (zone E) où l'apport est 2 fois et le N°7 (zone E) qui l'a fait une fois. Les teneurs obtenues dans le premier cas sont nettement inférieures à celles du sécond.

TABLEAU N°11 : Teneurs en nitrates des échantillons de laitues

Zones	Numéros jardiniers	Numéros échantillons	Absorbances	Teneurs en ppm	Engrais utilisés	
					Urée	Fumures organiques
A	1	1	0,615	192,50	x	x
		2	0,870	277,00		
		3	0,750	239,00		
		4	0,655	204,00		
	2	5	0,735	232,00	x	x
		6	0,500	156,00		
		7	0,482	150,00		
		8	0,745	236,00		
	3	9	0,535	167,50	x	x
		10	0,522	163,00		
		11	0,670	214,00		
		12	0,605	189,00	x	x
		13	0,475	148,00		
		14	0,570	178,00		
	4	15	0,165	49,50	x	x
		16	0,220	67,00		
		17	0,130	38,00		
B	1	18	0,832	264,00	x	x
		19	0,835	264,50		
	2	20	0,730	232,00	x	x
		21	0,595	186,00		
	3	22	0,610	190,00	x	x
		23	0,875	277,50		
	4	24	0,722	230,00	x	x
		25	0,440	137,00		
	5	26	0,850	271,00	x	x
		27	0,750	239,00		
		28	0,345	106,50	x	x
		29	0,375	116,00		

'ig: 10 Droite d'étalonnage issue du tableau n° 10



Abs.: Absorbance , Conc. : Concentration

TABLEAU N°11 (suite) : Teneurs en nitrates des échantillons de laitues.

Zones	Numéros jardiniers	Numéros échantillons	Absorbances	Teneurs en ppm	Engrais utilisés	
					Urée	Fumures organiques
C	1	30	0,520	162,00		x
		31	0,525	164,00		
		32	0,490	153,00		
D	1	33	0,480	149,00		x
		34	0,320	99,00		
	2	35	0,597	187,00		x
		36	0,327	101,00		
		37	0,560	175,00		
E	1	38	0,570	178,50		x
		39	0,777	246,00		
		40	0,535	167,50		
	2	41	0,760	243,00		x
		42	0,960	306,00		
	3	43	0,965	306,50		x
		44	0,302	93,00		
		45	0,274	84,00		
		46	0,165	49,50		x
		47	0,510	159,00		
	4	48	0,365	113,50		xx
		49	0,295	91,00		
		50	0,280	86,00		
	5	51	0,600	188,00		x
		52	0,620	194,00		
		53	0,610	191,00		
		54	0,480	149,50		
	6	55	0,827	262,50		x
		56	0,865	276,00		
		57	0,775	245,00		
		58	0,680	217,00		
	7	59	0,820	262,00		x
		60	1,062	312,00		
		61	1,200	375,00		

X : indique l'utilisation de l'engrais.

Le nombre de croix indique le nombre de fois que l'engrais est apporté.

2 variétés de laitues sont souvent prélevées chez le même jardinier. C'est le cas notamment des jardiniers

N°3 (zone A)
N°5 (zone B)
N°3 (zone C)

Les variations de teneurs constatées chez les laitues peuvent etre dues :

- au comportement du jardinier par le fait que les engrais ne sont pas en général uniformement épandus dans la planche. La quantité épandue dépend également de lui. Ceci peut expliquer les variations de teneurs au sein de la même planche,
- au moment de l'apport de l'engrais,
- au type de sol (texture) car il peut avoir des pertes d'azote nitrique par lessivage. Les laitues profitent peu des engrais azotés qui leur sont apportés dans ces conditions.

L'élévation de la téneur dans les laitues peut également s'expliquer par le fait que la feuille est un organe assimilateur et de reserve.

II.2.2.2. Teneurs en nitrates des carottes

Les résultats sont présentés dans le tableau N°12

La fumure organique est uniquement utilisée pour la culture de la carotte. On constate des variations au niveau des téneurs. Elles sont d'une manière générale basses. Les teneurs les plus élevées se rencontrent en zone A (échantillons N°11 et 15). La fumure organique est utilisée une seule fois sauf chez le jardinier N°3 (zone A) qui l'a utilisé 2 fois. Tous les échantillons de ce jardinier présentent des teneurs relativement élevées à l'exception de l'échantillon N°10. On note également quelques teneurs élevées chez certains jardiniers. Ce sont :

les échantillons N°2, 5 (zone A) et
les numéros 26, 31, 40 et 44 (zone B)

La faiblesse des teneurs dans les carottes peut s'expliquer par le fait que les nitrates sont rapidement transformés au niveau des racines. Donc un facteur lié à la structure même de la carotte. En plus de ce facteur, il y a aussi la non utilisation de l'urée pour sa culture.

L'élévation des teneurs contatées en zone A (jardinier N°3) peut s'expliquer par cet apport à 2 réprises de la fumure organique. Cet abus a entrainé une accumulation des nitrates non métabolisés au niveau de la carotte.

Les variations de teneurs constatées dans les zones et chez les jardiniers peuvent être dues soit au comportement du jardinier, au moment de l'apport de l'engrais et à la texture du sol.

Nous pouvons conclure que l'apport à plusieurs reprises de l'engrais (fumure organique) peut augmenter la teneur de nitrate dans les carottes.

TABLEAU N°12 : Teneurs en nitrates des échantillons de carottes.

Zones	Numéros jardiniers	Numéros échantillons	Absorbances	Teneurs en ppm	Engrais Utilisés	
					Urée	Fumures organiques
A	1	1	0,237	72,50		x
		2	0,332	102,50		
		3	0,320	99,00		
		4	0,245	75,00		
	2	5	0,232	102,50		x
		6	0,149	44,50		
		7	0,127	37,50		
		8	0,132	39,00		
		9	0,317	98,00		
	3	10	0,204	62,00		xx
		11	0,540	169,00		
		12	0,362	112,50		
		13	0,385	119,50		
		14	0,330	102,00		
	4	15	0,520	162,50		x
		16	0,230	70,00		
		17	0,240	73,00		
		18	0,165	49,50		
		19	0,160	48,00		
B	1	20	0,157	47,00		x
		21	0,320	99,00		
		22	0,182	55,00		
		23	0,180	54,50		
	2	24	0,168	50,50		x
		25	0,149	44,50		
		26	0,377	117,00		
		27	0,157	47,00		
		28	0,240	73,00		
	3	29	0,140	41,50		x
		30	0,216	66,00		
		31	0,350	108,50		
		32	0,320	99,00		
	4	33	0,180	54,50		x
		34	0,230	70,00		
		35	0,212	64,50		
		36	0,140	41,50		
	5	37	0,277	85,00		x
		38	0,262	80,50		
		39	0,260	80,00		
		40	0,390	121,00		
	6	41	0,130	38,00		x
		42	0,140	41,50		
		43	0,165	49,50		
		44	0,332	102,50		
E	1	45	0,145	43,00		x
		46	0,120	35,50		
		47	0,172	51,50		
		48	0,220	67,00		

II.2.2.3. Teneurs en nitrates des échantillons de choux

TABLEAU N°13 : Teneurs en nitrates des échantillons de choux

Zones	Numéros jardiniers	Numéros échantillons	Absorbances	Teneurs en ppm	Engrais Utilisés	
					Urée	Fumures organiques
B	1	1	0,170	51,50	x	x
		2	0,310	96,00		
C	1	3	0,345	107,00		x
		4	0,425	132,50		
	2	5	0,237	73,00		xx
		6	0,370	115,00		
	3	7	0,260	80,00	x	x
		8	0,190	57,00		
	4	9	0,320	99,00	x	x
		10	0,212	67,50		
	5	11	0,357	110,50	x	x
		12	0,350	108,50		
D	1	13	0,372	115,50		
		14	0,495	154,50	x	x
		15	0,345	107,00		
E	1	16	0,590	185,00	x	xx
		17	0,347	107,50		
	2	18	0,440	137,00		xxxxxx
		19	0,450	140,00		

Les deux types d'engrais sont utilisés par les jardiniers. Trois seulement n'ont pas utilisé l'urée. La fumure organique est apportée deux fois par le jardinier N°2 (zone C) et six fois par le jardinier N°2 (zone E).

Chez le jardinier N°1 (zone E), en plus de l'urée, l'apport de fumure organique est deux fois. On constate les mêmes variations qu'avec les laitues et les carottes. Les teneurs varient d'un jardinier à l'autre.

L'apport de la fumure à plusieurs reprises, semble n'avoir aucune incidence sur la teneur en nitrate des choux. C'est par exemple le cas des jardiniers N°2 (zone C) et le N°2 (zone E). La teneur la plus élevée provient du jardinier N°1 (zone E) qui a utilisé deux fois la fumure organique en plus de l'urée. Vu l'écart entre cette teneur et les autres, nous pouvons dire que cette pratique a une grande influence sur la teneur des nitrates dans les choux.

Les variations constatées peuvent être dues aux raisons citées pour les autres légumes.

En conclusion, nous pouvons dire que la teneur en nitrate de ces légumes cultivés peut dépendre de l'espèce, des facteurs génétiques et environnementaux mais surtout des pratiques agricoles.

B- COMMENTAIRES ET DISCUSSIONS

Les échantillons de sol, légumes et eaux analysés proviennent des 5 zones à intenses activités maraîchères de Bamako. Nous avons pour cela 31 échantillons de sol, 128 échantillons de légumes dont 61 laitues (47,65% du total des échantillons de légumes), 48 carottes (soit 37,5%) et 19 choux (soit 14,84%).

Signalons que la différence du nombre de types de légumes est due à la période d'échantillonnage (du 4 au 14 février 1990) et à l'importance que donnent les maraîchers à la culture de tel ou tel légume. Ces raisons font que les laitues proviennent de toutes les zones maraîchères tandis que les carottes ne proviennent que de 3 zones (A,B,E) et les choux de 4 zones (B, C, D, E).

Nous avons constaté que deux types d'engrais à savoir la fumure organique (fumier de ferme, ordures ménagères) et l'urée sont utilisés par les maraîchers.

Une enquête préliminaire nous a permis de connaître le système de culture adapté par nos maraichers.

I. Système de culture

Nous avons remarqué que la quantité d'engrais utilisé est difficile à déterminer car elle dépend du jardinier et de l'objet de mesure. La répartition de la quantité mesurée entre les planches dépend de la surface de celles-ci.

Les objets de mésure sont la brouette, le seau, la "baignoir" pour la fumure organique, la poignée et la balance (car l'urée est vendue par kilogramme) pour l'urée.

Une fois ces objets remplis de fumures, l'épandage est fait sur un certain nombre de planches qui varie selon leur surface et le jardinier.

C'est ainsi que nous avons un seau rempli de fumure organique pour une à cinq planches.

Trois mesures de brouettes pour les planches plus larges,
Une mesure de baignoir pour six ã dix planches
Un kilogramme (1 kg) d'urée est épandue sur 30 à 100 planches.
Une poignée d'urée est épandue sur 1 à 4 planches.

L'urée est beaucoup plus utilisée dans la zone de Daoudabougou que dans les autres zones. Nous avons 1 à 3 poignées d'urée par planche, 2 à 7 kg pour 100 planches.

Tout ceci nous a permis d'avoir des renseignements sur le mode d'utilisation.

I.1. Mode d'utilisation des engrais

Il y a une utilisation incontrôlée des engrais chimiques et organiques car les jardiniers ne tiennent pas compte de l'état de fertilité de leurs parcelles.

Les engrais sont apportés aux légumes seuls ou en association selon le type de légume (tableau N°14).

TABLEAU N°14 : Types d'engrais utilisés par les maraîchers pour la culture des légumes

Types d'engrais / Légumes	Urée seule		Fumure organique seule		Fumure organique + urée		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Laitues	-	-	10	52,64	9	47,36	19	100
Carottes	-	-	11	100	-	-	11	100
Choux	-	-	3	33,34	6	66,66	9	100
% du Total	-	-	24	61,53	15	38,47	39	100

n : nombre de jardiniers
- : engrais non utilisé
% : pourcentage

D'une manière générale, le système de culture est identique chez tous les maraîchers.

Il ressort de ce tableau que l'urée n'est pas utilisée seule. Elle n'est non plus utilisée pour la culture de la carotte.

Le choix de ces engrais est dû à leur disponibilité, leur coût moindre et du rendement obtenu surtout avec la fumure organique.

Les renseignements récueillis auprès des maraîchers au cours de l'échantillonnage des légumes nous ont permis de savoir le stade d'apport et le cycle végétatif des légumes (tableau N°15).

N.B : Le cycle végétatif représente ici le temps qui sépare le jour du repiquage (laitues et choux) ou de la semence (carotte) et le stade de consommation.

Le stade d'apport correspond à celui qui sépare le jour du répiquage ou de la sémence et le jour même de l'apport d'engrais.

Les paysans enquêtés qui utilisent les deux types d'engrais, appliquent le même système de fertilisation. C'est à dire, la fumure organique complétée par l'urée. C'est ainsi que la fumure organique est apportée 7 à 15 jours (pour laitues et choux) après répiquage et l'urée 15 a 30 jours après.

Si l'on considère les cycles végétatifs de ces légumes, cela peut se compendre aisement quand on tient compte des formes sous lesquelles les éléments fertilisants leurs sont apportés.

Signalons que les enquêtes et l'échantillonnage n'ont pas été faciles compte tenu de la méfiance des jardiniers.

Même si ce comportement a une influence sur les résultats des enquêtes, notre souci majeur est d'établir une corrélation entre les engrais utilisés et la composition de légumes surtout les teneurs en nitrates.

TABLEAU N°15 : Récapitulatif des renseignements recueillis auprès des maraîchers au cours de l'échantillonnage des légumes.

Légumes	Cycle végétatif	Engrais utilisé + stade d'apport après repiquage (en jours)		Nbre éch.
		Urée	Fumure organique	
Laitues	30 à 45 jours	15 à 30	7 à 15	61
Carottes	3 mois	pas d'apport	le jour de semence	48
Choux	2 à 4 mois	30	7 à 15	19

Nbre : Nombre
éch. : échantillons

II. Quel peut être l'impact d'un tel système de fertilisation sur l'environnement et la santé humaine ?

Ceci nous fait penser à l'expression du Docteur Serge Mongeau qui dit que :

" De la production de masse en agriculture résultent de nombreuses consequences. Les économistes nous disent que l'augmentation de la productivité a permis de maintenir à un niveau très bas le prix du panier à provisions en comparaison des autres biens. Mais cet effet positif est vite annulé lorsqu'on prend en considération tous les effets négatifs qui découlent des méthodes agricoles modernes au niveau de l'environnement , de l'emploi et de la santé."

II.1. Impact sur l'environnement

* Les engrais peuvent renfermer diverses impurétés. Les superphosphates ($[Ca_3(PO_4)_2]_3$ CaX avec X = F_2, Cl_2, $(OH)_2$ ou SO_4) renferment des traces de nombreux métaux et métalloïdes toxiques.

Certaines de ces impurétés comme l'arsenic (As) sont peu mobiles dans les sols et ont tendance à s'accumuler dans les horizons superficielles.

L'apport d'impurétés par les fumures minérales contamine peu à peu les terres de culture avec des éléments nocifs. Ces éléments sont susceptibles de passer dans les parties commestibles des végétaux ou d'atteindre des concentrations phytotoxiques. La couche superficielle des sols est la partie soumise aux pratiques culturales et où sont situées les majeures parties des racines des végétaux. A long terme, l'accumulation des substances toxiques à ce niveau constitue une menace potentielle pour la santé [7].

L'utilisation massive des engrais influe sur la fertilité et la texture du sol. Cet apport repété pendant plusieurs années sur les mêmes parcelles conduit à un déséquilibre des éléments fertilisants surtout si le système d'amendement n'est pas contrôlé.

Le sol s'enrichit en certains éléments contrairement à d'autres. C'est ainsi qu'il a été démontré après des études sur la fertilité des sols maraîchers de la ville de Bamako que la teneur du potassium diminue avec la durée d'exploitation [1]. Nos résultats montrent que la téneur du calcium augmente avec la durée d'exploitation. Cela peut entrainer une élévation du P^H qui peut être nuisible pour certaines plantes.

Ce déséquilibre est néfaste pour la productivité quand on sait qu'il existe des interactions entre les éléments nutritifs [1]. C'est ainsi que l'on peut assister à un antagonisme, un synergisme et souvent un blocage (inhibition) entre les éléments nutritifs. Nous avons les exemples suivants :

Synergisme entre P et K ; K et Ca
Blocage entre Ca et Mg ; Mg et S
Antagonisme entre Ca et Mg ; Fe et Si

Donc les éléments doivent être à des teneurs de manière à ne pas nuire à leur absorption par les plantes.

Les teneurs en éléments fertilisants des sols maraîchers sont très élevées par rapport aux moyennes rencontrées dans le pays. Nous avons a titre d'exemples quelques comparaisons :

azote total : 0,14 contre 0,02 à 0,04%
phosphore assimilable : 1/4,51 ppm contre 5 à 20 ppm
carbone organique : 0,87 contre 0,1 à 0,5%

Signalons que la richesse du sol en éléments nutritifs ne suffit pas pour assurer un dévéloppement normal des plantes.

L'utilisation des réserves minérales dépend du pH appelé souvent "réaction du sol". Donc la fertilité d'un sol en un élément dépend surtout du pH.

Exemple : pH_{H2O}	taux d'azote	appréciation
6	0,08 à 0,15	haut
4,5	0,08 à 0,15	bas

Nous avons deux valeurs du pH (à l'eau et au KCl). En général $pH_{H2O} > pH_{KCl}$. Cela est du à la réaction de l'ion K^+ avec les particules du sol. Nous avons la réaction suivante :

$$Sol - Al + 3K^+ \longrightarrow Al^{3+} + Sol\text{-}K_3$$

$$Al^{3+} + 3H_2O \longrightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$$

Les résultats de nos analyses prouvent qu'il y a une surfertilisation des sols maraîchers. Le taux d'azote est haut car le pH_{H2O} moyen est de 6,60. C'est un pH qui permet une bonne assimilation des éléments fertilisants. Les valeurs moyennes des éléments sont présentées dans le tableau N°16.

Les appréciations sont faites en se reférant à celles proposées par A. Doumbia et celles du Minitère français de la coopération (1978) et de Zuang Henry (1982) [1].

TABLEAU N°16 : Teneurs moyennes en éléments fertilisants des échantillons de sol.

Eléments	pH_{H2O}	C %	N_T %	C/N	P_T (ppm)
Moyennes de valeurs	6,60	0,87	0,14	6,5	628,86
Valeurs normales admissibles pour les sols agricoles	6,60 à 7,3	1,0 à 1,25	0,1 à 0,15	7,5 à 12,5	300 à 175

Tableau N°16 (suite) : Teneurs moyennes en éléments fertilisants des échantillons de sol.

Eléments	P_{Bray} (ppm)	Ca^{2+} (meq)	Mg^{2+} (méq)	K^+ (méq)	Na^+ (méq)	CEC
Moyennes des valeurs	174,51	7,84	1,90	0,83	0,98	7,52
Valeurs normales admissibles pour les sols agricoles	130 à 450			>0,2		6 à 12

Le rapport K/Mg doit se situer entre 0,25 et 0,4. L'intervalle 6,60 à 7,3 du pH est celui qui permet une bonne assimilation des éléments par les plantes. Ce sont des pH voisins de la neutralité. Cette surfertilisation est due au fait que l'apport de fumure au sol n'est pas précedé d'un contrôle de fertilité par des analyses chimiques. Celui-ci reçoit après chaque récolte des quantités importantes de fumures. Cet apport repété d'engrais augmente les téneurs en éléments fertilisants et joue également sur la texture du sol (sol léger).

Le temps d'exploitation à une influence négative sur le sol d'autant plus que l'emploi d'engrais chimique détruit progressivement l'humus qui retient le sol et l'eau. Chaque année une grande partie de la surface se perd.

La fertilisation incontrôlée faite par les maraîchers peut diminuer leur gain. Par ignorance, ils vont tenter de le compenser par l'augmentation de la quantité d'engrais. La baisse de gain joue sur leur pouvoir d'achat quand on sait que le maraîchage est leur principale activité donc la principale source de revenu. La réduction d'achat s'accompagne inéluctablement d'une réduction du budget alloué aux dépenses pour la santé de la famille. Il s'ensuit une plus grande exposition aux maladies par les mauvaises conditions de vie.

* Compte tenu des formes de pertes de l'azote (volatilisation surtout), certains chercheurs estiment que l'emploi croissant de fertilisants chimiques a base de celui-ci dans le monde (2 millions de tonnes en 1950 ; 40 millions en 1974 et entre 120 et 300 millions de tonnes estimés pour l'an 2000) pourrait réduire considérablement la couche d'ozone qui nous protège des rayons U.V. Les fertilisants se dégradent en effet en un gaz qui, dans la haute atmosphère détruit l'ozone [19].

La réaction suivante se produit :

$$NO_2 + O_2 \underset{(2)}{\overset{U.V\ (1)}{\rightleftharpoons}} NO + O_3$$

La menace est surtout dans le sens (2) de la réaction. C'est NO provenant de NO_2, qui détruit l'ozone (O_3) en présence de U.V.

Les U.V ayant des effets néfastes sur la santé tel que l'effet cancerigène, l'utilisation des engrais azotés doit être contrôlée. L'élévation de la téneur en azote s'explique par la minéralisation très rapide (C/N < 7,5). Celle-ci est favorisée par les facteurs tels que l'humidité abondante due aux arrosages fréquents, la présence de bactéries nitrifiantes, la température, le pH et une aération suffisante. Tous ces facteurs favorisent également la formation de nitrates dans les sols. La minéralisation de la fumure organique aboutit à la formation d'azote disponible (azote nitrique, azote ammoniacal). La forme nitrique peut être totalement ou partiellement absorbée par les plantes. Les nitrates non absorbés peuvent être entrainés en

profondeur par lessivage et dans les eaux superficielles par ruissellement.

Le engrais nitriques alcalinisent les sols auxquels ils sont appliqués. Quand on prend le cas de l'urée (donne NH4+), une fois épandue en surface, des grandes quantités peuvent être perdues par volatilisation dans l'atmophère. Elle peut nuire aussi aux plantules, une fois placée à leur contact. Contrairement aux nitrates, les ions NO_2^- et NH_4^+, très toxiques ne s'accumulent pas. L'absorption des ions NH_4^+ est compensée par une exorption concomittante des protons. Ce qui acidifie le milieu extérieur et peut être néfaste pour la plante en cas d'apport massif d'engrais [7].

La présence de nitrate dans le sol est due généralement à l'apport d'engrais. C'est ce que l'on constate quand on compare les téneurs en nitrates des parcelles exploitées à celles de la parcelle non exploitée. La parcelle non exploitée contient les téneurs les plus élevées pour la plupart des éléments fertilisants et seulement des traces de nitrates. C'est ce que l'on a constaté avec les laitues cultivées sur un sol ayant reçu 600 Kg par hectare de nitrate qui titrent 6 g/Kg (poids sec) d'azote nitrique contre seulement 1 g/Kg dans celles provenant d'une parcelle témoin non fertilisée [18].

* La texture du sol est un facteur déterminant pour la teneur en nitrate dans celui-ci. C'est ainsi que l'abus des engrais nitrés dans les pays d'agriculture industrielle provoque une serieuse pollution des nappes phréatiques et des eaux superficielles. Les nitrates qui ne sont pas rétènus par le complexe colloïdal du sol, peuvent être perdus aussi par lessivage. Cela peut expliquer les variations des téneurs en nitrates dans les différentes zones. (tableau N°17)

TABLEAU N°17 : Teneurs moyennes en nitrates dans les zones maraîchères

Zones	A	B	C	D	E
Teneurs moyennes (ppm)	10,635	9,147	11,117	12,551	15,99

La lixiviation est la forme la plus importante pour la perte en azote si celui-ci prend la forme nitrique. C'est pour cela que la teneur normale en nitrates ne doit pas dépasser 10mg/l dans les sols cultivés et les eaux [19]. Les études faites en Côte-d'Ivoire par Gigou et Chabalier (1987) ont montré qu'il y avait 10 ppm d'azote nitrique ($N-NO_3$) dans les sols à la fin de la saison sèche et pendant le début de l'hivernage. A mi-saison, cet azote nitrique est disparu ou est utilisé. Au même moment ils ont trouvé 5 ppm sous la forme NH_4^+ produit par la minéralisation. En Août, il est resté 2 à 3 ppm de NH_4^+.

Donc les ions nitriques non utilisés sont soit entrainés en profondeur du sol ou volatilisés.

Il est vrai que l'épandage de quantités importantes d'engrais permet d'obtenir une production maximale. Mais son abus risque de porter la teneur en nitrates des eaux souterraines à plus de 10 mg/l. C'est ce qui fait que dans certaines zones, les eaux souterraines, en particulier les eaux de puits peuvent conténir de 50 à 450 mg de NO_3^-/l [19].

Les systèmes de fertilisations appliqués par nos maraîchers ne permettent-ils pas une telle pollution des eaux de puits servant à l'arrosage des légumes ?

Sachant que ces eaux servent d'eaux de boissons pour les maraîchers et que l'OMS a fixé à 10 ppm la teneur en nitrates des eaux de boissons [7], nous avons analysé quelques échantillons d'eaux provenant de ces puits et de certains points du fleuve Niger. C'est ainsi que 40 échantillons ont été prélevés dans les différentes zones. Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau N°18.

Les numéros des échantillons provenant du fleuve sont précédés de la lettre F (fleuve).

Dans ce tableau, nous constatons que les teneurs varient selon les puits et les zones. Elles sont faibles et mêmes nulles dans certains échantillons. Nous rencontrons aussi des traces en zones A (échantillon N°4).

Les échantillons provenant du fleuve ont des teneurs faibles. Elles sont nulles dans l'échantillon N°22 (zone C) qui provient d'une eau d'égoût utilisée par un maraîcher.

Par contre, on trouve des teneurs élevées dans les échantillons des zones A et B.

Toutes ces variations peuvent s'expliquer par la nature du sol surtout en zone B. Avec sa structure sabloneuse, elle présente les téneurs les plus élevées en nitrates dans les eaux de puits contrairement à celles rencontrées dans le sol de cette même zone. Par rapport aux autres zones, elle présente la plus faible téneur moyenne en nitrate dans le sol (9,147). Les pertes en azote semblent être plus grandes dans cette zone par lessivage.

La durée d'exploitation peut être un facteur déterminant de cette teneur. C'est le cas surtout de la zone A où on trouve des teneurs assez élevées (teneur moyenne 11,55 ppm).

Certaines eaux renferment 2 à 3 fois la teneur admise dans les eaux de boisson (10 ppm). Le tableau N°19 montre les différentes proportions des échantillons selon les variations des téneurs.

TABLEAU N°18 : Teneurs en nitrates des échantillons d'eaux d'arrosage.

Zones	Numéros échantillons	Absorbances	Teneurs en ppm	Moyennes
A	1	0,025	7,00	11,55
	2	0,015	4,00	
	3	0,010	3,00	
	4	0,003	traces	
	5	0,015	4,00	
	6	0,075	23,00	
	7	0,090	28,00	
	8	0,060	19,00	
	9	0,050	16,00	
B	10	0,120	39,00	22,45
	11	0,090	28,00	
	12	0,100	31,00	
	13	0,090	28,00	
	14	0,100	31,00	
	15	0,050	16,00	
	16	0,055	17,00	
	17	0,020	6,00	
	18	0,015	4,00	
	19	0,080	25,00	
	20	0,070	22,00	
C	21	0,060	19,00	7,08
	22	0,000	0,00	
	F - 23	0,020	6,00	
	F - 24	0,020	6,00	
	F - 25	0,025	7,00	
	F - 26	0,015	4,00	
D	F - 27	0,020	6,00	4,50
	28	0,010	3,00	
	F - 29	0,020	6,00	
	30	0,010	3,00	
E	31	0,020	6,00	8,60
	32	0,030	9,00	
	F - 33	0,010	3,00	
	34	0,035	11,00	
	35	0,015	4,00	
	36	0,045	14,00	
	37	0,030	9,00	
	38	0,025	7,00	
	39	0,045	14,00	
	40	0,030	9,00	

TABLEAU N°19

Nombre / Teneurs (ppm)	n	%
0 - 10	23	57,5
10 - 20	8	20
20 - 30	6	15
> 30	3	7,5
Total	40	100

n : nombre d'échantillons
% : pourcentage

Dans ce tableau il ressort que :

57,5% des échantillons présentent des téneurs acceptables, 20% en contiennent 2 fois, 15% en ont 3 fois et 7,5% ont plus de 3 fois la teneur admise.

La répartition des variations de teneurs en nitrate en fonction des zones est présentée dans le tableau N°20.

TABLEAU N°20 : Variation des teneurs selon les zones.

Teneurs (ppm) / Zones	0 - 10		10 - 20		20 - 30		> 30		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
A	5	56	2	22	2	22	-	-	9	100
B	2	18,2	2	18,2	4	36,3	3	27,3	11	100
C	5	83,3	1	16,6	-	-	-	-	6	100
D	4	100	-	-	-	-	-	-	4	100
E	7	70	3	30	-	-	-	-	10	100
Total	23	57,5	8	20	6	15	3	7,5	40	100

n : nombre d'échantillons
% : pourcentage
- : absence de valeurs.

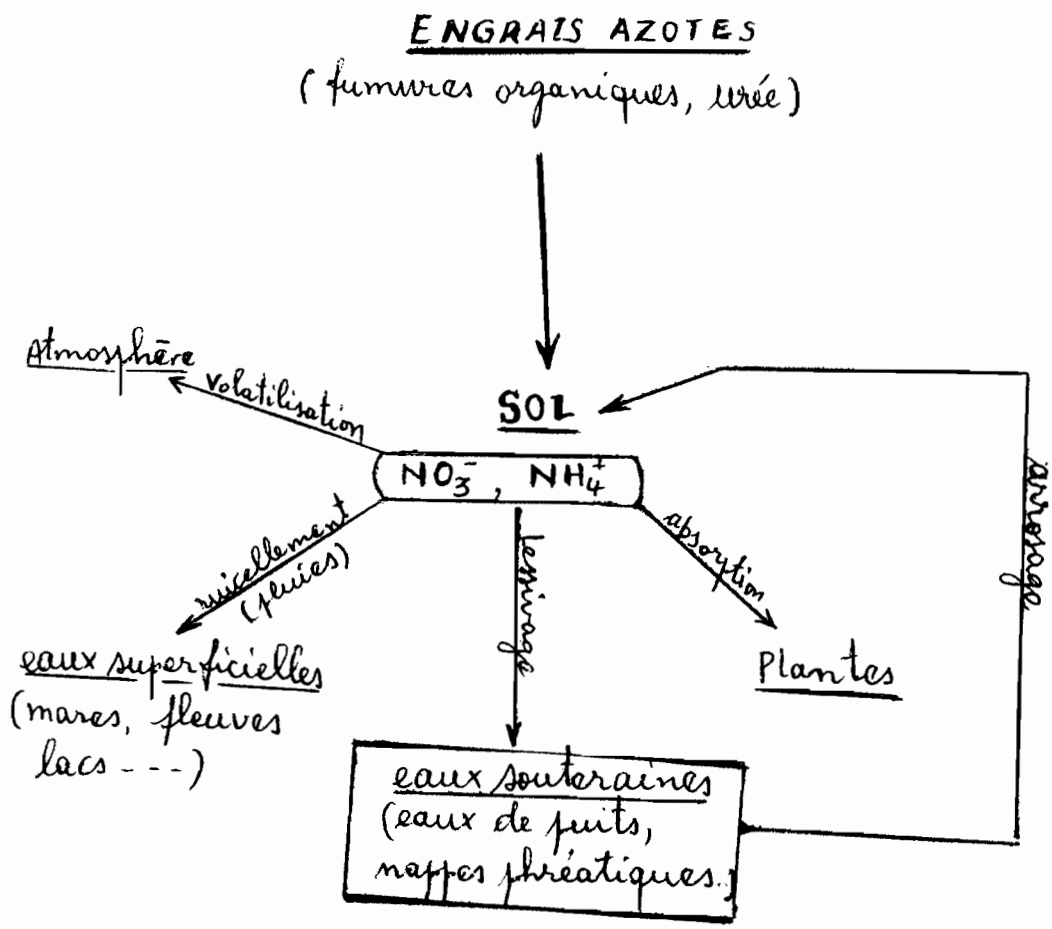
Les zones A et B présentent les plus fortes teneurs contrairement aux zones C, D et E qui ont respectivement 83,33%, 100% et 70% des valeurs inférieures ou égales à 10 ppm.

Compte tenu de leur teneur en nitrate les eaux d'arrosage peuvent être des sources d'apport de cette substance au sol et aux légumes . Cette croissance de teneurs dans les eaux, peut entrainer à un moment donné, une baisse de la rentabilité des sols par l'excès de nitrates.

L'azote perdu par lessivage est ramené au sol sous forme nitrique par les eaux d'arrosage déjà polluées. Il se forme ainsi un cycle des nitrates (Figure 11).

Avec cette infiltration et l'apport continu d'engrais azoté, il arrivera un moment où les nitrates de ces eaux pourront suffir pour assurer la croissance des légumes. Elles serviront de sources d'azote. Pour cela, les apports de fumures organiques serviront à la formation de nitrates qui va soit s'infiltrer ou s'évaporer selon les conditions du milieu.

Figure N°11 : Formes de pertes de l'azote et le cycle des nitrates dans les systèmes de fertilisation des zones maraîchères par les engrais azotés.



Avec l'apport massif et répété des fumures organiques (fumier de ferme), il y a une formation continue de nitrates par minéralisation. Il va s'en suivre une élévation progressive des nitrates dans les eaux de puits.

Si pendant 7 à 25 ans d'exploitation de ces sols, nous rencontrons des téneurs en nitrates dans les eaux d'arrosage, nous osons affirmer que dans 50 à 100 ans si des mesures adéquates ne sont pas prises, elles seront alarmantes. Une réduction de l'utilisation des engrais chimiques s'impose aux pays en voie de développement au profit des fumures organiques. L'utilisation rationnelle de ces fumures a un double avantage. D'une part elle permet de réduire les téneurs en nitrates dans les sols et les eaux, d'autres parts, elle contribue à l'assainissement du milieu. Ceci contribuera à diminuer les maladies infectueuses liées à l'environnement (parasitoses et diarrhées). La préparation de son propre compost à partir des déchets de la maison et du fumier de certains animaux contribuerait aussi à diminuer la masse des déchets qu'il faut enfouir ou brûler.

C'est ainsi qu'après des études, il ressort qu'il est possible d'utiliser efficacement les déchets de 7 à 8 vaches au maximum par hectare de terre cultivée. L'épandage de quantités plus importantes risque de porter la téneur en nitrate des eaux souterraines à plus de 10 mg/l [19].

La contamination des eaux d'arrosage est une menace pour les maraîchers et les populations vivant dans les quartiers de ces zones. Les déchets animaux mal utilisés peuvent se rétrouver à un moment donné dans l'eau. Si on leur ajoute les engrais chimiques qui sont aussi entrainés par les pluies vers les rivières, l'eau "enrichie" devient un milieu de culture favorable aux algues. Ceux-ci consomment l'oxygène et rendent la vie animale de plus en plus difficile. Les micro-organismes qui détruisaient les matières organiques ne peuvent plus continuer leur travail et l'eau devient de plus en plus polluée. Cette eau constituerait en ce moment une source de substances toxiques pour l'homme.

Les végétaux, d'une manière générale sont influencés par les changements que subit le sol. C'est ainsi que l'apport d'un fertilisant à un sol joue sur la composition des végétaux qui s'y trouvent.

* Impact de l'utilisation des engrais sur la composition des légumes.

Comme il est dit plus haut, les maraîchers appliquent le même type de fertilisation.

Le moment d'épandage des fumures organiques et minérales a une influence déterminante sur l'efficacité de leur utilisation par les plantes. C'est ainsi que la fumure organique est apportée plus tôt que les engrais minéraux (urée). Malgré le temps de minéralisation généralement long, les légumes profitent de cette

fumure car sa vitesse de minéralisation est très rapide dans ces zones. Quant à l'urée, l'azote est sous forme directement assimilable (NH_4^+). Elle est apportée quelques semaines avant le stade de consommation car la plupart des plantes à cycle végétatif court n'ont que des besoins faibles en azote au stade plantule. Ceci devenant très important lors de la période de croissance intensive.

Les techniques agricoles modernes provoquent une diminution de la qualité nutritive des aliments. La fertilisation des légumes à l'aide d'engrais à base de nitrates augmente la proportion de l'eau par rapport à la matière sèche. Cette eau peut se perdre facilement par volatilisation une fois que le légume n'est plus en contact avec le sol. Les proportions d'eau dans les trois légumes sont les suivantes :

Laitues : 95%
Choux : 94%
Carotte : 90%

Ceci pose des problèmes de conservation de ces derniers. Pour les maraîchers, c'est l'urée qui est à la base de ce problème. L'excès de certains éléments (provenant des engrais) dans les légumes peuvent influencer leur saveur, couleur et goût.

Le déséquilibre entre ces éléments joue sur le métabolisme par perturbation des réactions chimiques.

Le goût fade constaté chez les carottes peut être dû à de tels phénomènes.

Les systèmes de cultures adaptés par nos maraîchers ont fait que les légumes contiennent des téneurs élevées en cations. Ces résultats confirment la surfertilisation des sols.

Certaines valeurs dépassent largement les teneurs généralement rencontrées dans la matière sèche (feuilles ou jeunes pousses) tableau N°21. Ce sont les intervalles de variations des téneurs en cations des légumes.

Les teneurs varient en fonction du type de légumes.

Les engrais améliorent les valeurs nutritives des légumes comme ils peuvent les diminuer.

Quand l'apport d'engrais est important, le rendement peut baisser grâce aux effets néfastes cités ci-dessus. On peut assister à une perte de clients suite à la mauvaise qualité des légumes. En cas de production massive, il peut s'en suivre une mévente. Tout cela peut diminuer le gain des maraîchers. Ce qui se répercute directement sur leur pouvoir d'achat d'où une baisse du niveau de vie. Nous assisterons finalement à une exposition de ces maraîchers aux maladies.

Avec la destruction progressive de la couche superficielle du sol, et la baisse progressive de la rentabilité, les maraîchers seront tentés de se déplacer vers de nouvelles zones.

Cela augmentera d'avantage le risque de pollution des eaux et la destruction progressive des sols.

Les nitrates qui sont absorbés par les légumes à partir du sol sont véhiculés par la sève brute jusqu'à la formation de molécules protéiques.

TableauN°21 : Intervalles de variation des teneurs en cations dans les légumes étudiés.

Légumes	Na^+ %	K^+ %	Ca^+ %	Mg^{2+} %
Laitues	0,100 à 0,993	8,160 à 14,315	0,352 à 2,712	0,304 à 3,405
Carottes	0,090 à 1,652	2,030 à 10,545	0,326 à 0,742	0,725 à 1,958
Choux	0,042 à 0,925	2,460 à 3,200	0,351 à 0,833	0,878 à 1,836
Teneurs rencontrées dans les matières sèches (feuilles ou pousses)		0,1 à 12	0,04 à 7	0,05 à 2

La composition d'une plante reflète généralement l'état de fertilité du milieu de culture. L'apport répété d'engrais pendant longtemps a entrainé des teneurs élevées en éléments fertilisants des sols maraîchers.

Le rapport entre le temps d'exploitation et les teneurs moyennes dans les légumes est présenté dans le tableau N°22.

Tableau N°22 : Variation des teneurs en nitrates en fonction du temps d'exploitation

Zones (t) \ Légumes	Laitues	Choux	Carottes
C (plus de 25 ans)	159,66	95,00	-
D (25 ans)	142,20	125,66	-
A (25 ans)	170,64	-	84,55
E (plus de 10 ans)	199,77	142,37	49,25
B (7 ans)	205,45	73,75	69,24

(t) : durée d'exploitation
\- : absence d'échantillons

Les teneurs dans les laitues varient dans le sens inverse de la durée d'exploitation, ce qui n'est pas le cas chez les choux et les carottes.

Les zones E et B présentent les moyennes les plus élevées pour les laitues, D et E pour les choux, A pour les carottes.

Le cas de la zone B est paradoxal quand on sait que c'est celle où la lixiviation semble la plus importante.

Elle présente les teneurs faibles en nitrates dans les échantillons de sol et les téneurs les plus élevées dans les échantillons d'eaux.

Nous pouvons donc lier l'élévation des teneurs dans cette zone à des facteurs internes et externes surtout. Les facteurs externes étant la quantité d'engrais apporté qui dépend du jardinier. Le facteur interne est surtout lié à la structure même de la laitue.

Même si la teneur en nitrate dans les laitues varie dans le sens inverse de la durée d'exploitation, cela ne doit pas nous faire perdre de vue les effets néfastes sur les eaux souterraines (puits) et sur le sol.

En ce qui concerne les normes de nitrates dans les légumes, nous n'avons pas des valeurs d'interprétation pour la méthode utilisée lors des analyses. Les analyses agronomiques ont généralement pour objectifs de faire un rapport entre la composition de la plante et la fertilité du sol. Pour cela, les analyses d'organes tels que le limbe les pétioles, les fleurs, les tissus et les feuilles sont effectués. Nous nous sommes intéressés aux teneurs en nitrate des parties commestibles.

C'est pour cela que nos résultats sont appréciés par rapport à la limite fixée par l'OMS. Elle est de 75 ppm de NO_3^- dans les aliments.

Les légumes étant consommés crus ou cuits et aussi des matières premières pour certaines préparations d'aliments infantiles, leur teneur en nitrates doit être contrôlée.

Les teneurs rencontrées dans les trois légumes par rapport à la limite fixée par l'OMS sont réparties dans le tableau N°23.

La présence de fortes teneurs de nitrates dans les légumes prouvent qu'il y a un apport important d'engrais azotés. C'est ce qui est d'ailleurs souvent constaté avec l'utilisation intensive en agriculture d'engrais azotés en particulier les nitrates de potassium et d'ammonium qui entraine une élévation des teneurs de ces produits [33].

Les laitues contiennent plus de nitrates que les choux et les carottes. Ces teneurs varient dans l'ordre suivant :

Laitues > Choux > Carottes.

Tableau N°23

Classes \ Légumes	Laitues		Choux		Carottes	
	n	%	n	%	n	%
]0 - 75]	4	6	4	21	31	65
]75 - 150]	14	23	13	68	15	31
]150 - 225]	22	36	2	11	2	4
]225 - 300]	17	28				
]300 - 375]	4	6				
TOTAL	61	100	19	100	48	100

n : nombre d'échantillons
% : pourcentage

Les laitues contiennent 2 à 5 fois la teneur admise par l'OMS. Les choux en contiennent 2 à 3 fois. C'est surtout dans les carottes que l'on rencontre les teneurs acceptables malgré qu'il y a quelques valeurs supérieures à 75 ppm (4%).

D'une manière générale, la teneur en nitrates des plantes cultivées (légumes) dépend de l'espèce végétale considérée, des facteurs génétiques et environnementaux.

Il est évident que toutes ces observations ne sont pas sans conséquences sur la santé.

II.2. Impact sur la santé

Les légumes occupent une place importante dans l'alimentation humaine. Ils sont des sources d'éléments tels que les cations et les vitamines d'où une attention particulière à leur égard pour certaines corrections métaboliques ou certaines carences. Nous citons comme exemples la consommation de carotte pour remedier à l'avitaminose A à cause de sa richesse en cette vitamine. On peut également conseiller les laitues en cas d'hypokaliemie.

Ce bien fait ne doit pas nous faire perdre de vue les effets nocifs dus aux pratiques culturales modernes. Celles-ci peuvent entrainer au sein des plantes, du sol et des eaux des éléments ou substances toxiques. C'est pour cela que les légumes peuvent être une menace pour la santé. Parmi les substances toxiques nous avons les nitrates qui peuvent entrainer le cancer ou la méthémoglobinemie. Ces nitrates provenant du sol (apport d'engrais), peuvent se repandre dans l'air, contaminer l'eau et passer dans les parties commestibles des légumes pour se retrouver enfin dans l'assiette du consommateur. C'est pour cette raison que le Docteur S. MONGEAU dit que "l'effet positif de la production de masse est vite annulé lorsqu'on considère les

effets négatifs qui découlent des méthodes agricoles modernes au niveau de la santé".

* Des études menées dans certains pays ont montré l'effet nocif des nitrates contenus dans les aliments.

Dans ces pays, la recherche épidémiologique a mis en évidence une relation étroite et cohérente entre l'instauration d'un type de régime alimentaire et l'apparition de toute une gamme de maladies chroniques non infectueuses dont le cancer. Celui-ci est une des causes les plus fréquentes de decès dans les pays développés. Un cancer sur trois est lié à des facteurs d'ordre alimentaire [20].

Les enquêtes menées sur le régime alimentaire des cancereux sont très difficiles car leurs retrospectives et leurs conclusions ne concernent que les pays où elles ont été entreprises. A travers ces enquëtes, la consommation de légumes est faible chez les cancereux. Par exemple :

- Aux Etat-Unis, la consommation de légumes est plus basse chez les cancereux ;

- En Ille - et - Vilaine, les cancers alimentaires sont peu vraissemblables [25].

En ce qui conserne les analyses chimiques, des quantités de nitrates ont été retrouvées dans quelques aliments infantiles à base de légumes préparés à l'avance. Il s'agit de la purée d'épinards et de jambon carotte. Les analyses de légumes frais (carottes et épinards) ont prouvé que ces nitrates provenaient de ces légumes. Les résultats obténus ont montré que la téneur en nitrate était assez considérable. Ceux trouvés dans les préparations d'épinards étaient de 7 à 14 fois supérieures à ce qui est autorisé par la réglémentation [33].

Compte ténu du rôle que jouent les nitrates dans la formation des nitrosomines, qui sont cancérigènes, la règlementation française limite sa teneur dans les produits destinés à l'alimentation infantile. Cette teneur ne doit pas dépasser 5 mg pour cent grammes de produits lorsque l'étiquetage de ces produits ne précise pas qu'ils sont destinés aux enfants de plus de 4 mois [33].

* Dans les pays en voie de développement (P.V.D.) en général et au Mali en particulier, le problème est surtout environnemental (pollution des eaux par l'utilisation d'engrais azotés) comme il a été évoqué au début des commentaires.

Cependant des hypothèses ont été évoquées quant aux rélations entre cancer et régime alimentaire a Bamako et en Afrique. On a soutenu que l'incidence du cancer gastrique, au Mali est certainement l'une des plus élevées du monde d'où la recherche de facteurs éti ologiques particulières. C'est ainsi que quelques facteurs nutritionnels sont évoqués. Ce sont :

- La carence en vitamine A et C
- La consommation importante de poissons séchés, salés, fumés ou non.
- La ration alimentaire essentiellement d'origine glucidique (mil, riz) est pauvre en viande, fruits et légumes [17].

D'une manière générale, les causes des intoxications par les nitrates sont nombreuses. Nous avons ainsi quelques unes :

- emploi de sous-nitrate de bismuth en therapeutique,
- confusion culinaire du nitrate de potassium ou de saumure avec le sel de cuisine,
- farine transportée dans des sacs d'engrais nitratés ou traités au chlorure d'azote (pour obtenir du pain blanc).

Malgré ces hypothèses, il y a des inquiétudes en ce qui concerne les légumes. Ceux provenant de nos zones maraîchères sont apparemment de bonne qualité (grosses carottes, laitues à grandes feuilles, choux bien pommés). Le consommateur, attiré par ces aspects attrayants se précipite sur ces légumes. Il se trouve ainsi inconsciemment exposé à des substances chimiques nuisibles.

Il est vrai que notre alimentation est d'une manière générale pauvre en viande, fruits et légumes mais, une attention particulière doit être portée à la nutrition des jeunes enfants et des nourrissons. Ce groupe d'âge est le plus exposé aux aliments à base de légumes préparés à l'avance. Il s'agit notamment des farines (à base de légumes) qui occupent de plus en plus une place importante dans l'alimentation locale des enfants dans les pays en voie de développement en général et du Mali en particulier. Ceci est surtout accentué dans les grandes villes (62304 boîtes de farine à base de légumes - blédine, phosphatine, farigalia - vendues par la PPM au cours de l'année 1991). Ce comportement peut être une inquiétude quand on sait qu'il n'y a pas de système de contrôle de ces aliments à base de légumes.

Si le problème est aujourd'hui réel dans les pays développés par des cas concrets, il le sera plus tard dans les P.V.D. avec l'influence de la grande industrie qui se fait sentir. L'industrie alimentaire, grâce à son habile publicité, et à un efficace marketing, amène les consommateurs à se procurer de quantités toujours abondantes d'aliments transformés. C'est pour cela qu'en Amérique du Nord, la consommation de fruits et de légumes a diminué de 33% depuis 1910, alors que celle d'aliments transformés a grimpé de plus de 300% [31].

Un autre problème que peut poser les légumes est que leurs enzymes naturels peuvent contribuer à l'accumulation des nitrites et des nitrates dans les aliments conservés. Les légumes ainsi préparés ou conservés constituent un danger potentiel pour les enfants qui en sont nourris.

Les nitrates peuvent être réduits en nitrites très toxiques au cours du transit intestinal.

Nos légumes sont habituellement consommés crus ou associés à d'autres denrées pour la préparation de sauces. Ceci peut être une cause, en plus de celles citées plus haut, de cancérogénèse car, consommés frais, ces légumes conservent leurs éléments ou substances qui passent dans le tractus gastro-intestinal. La cuisson aussi peut favoriser la disparition ou la formation de certains éléments ou substances nuisibles pour l'homme.

Les ions nitrates, une fois au niveau du tractus gastro-intestinal participent à la formation de composés N - nitrosés qui sont cancérigènes. C'est en cela que nos légumes qui contiennent des quantités élevées de nitrates peuvent être dangereux.

Signalons que les composés N - nitrosés (CNN) résultent de la nitrosation des molécules organiques très ubiquistes constituants majeurs des aliments. Ils peuvent se trouver dans l'eau de distribution [18] (le cas des zones rurales et des P.V.D.), les produits laitiers. Ainsi l'homme se trouve continument exposé aux nitrates, nitrites à travers les plantes, l'eau et les aliments.

Les nitrates, nitrites et composés N - nitrosés peuvent être causes de toxicités aiguë ou chronique après ingestion.

La toxicité des nitrates varie largement. Sa dose mortelle chez l'adulte est de l'ordre de 15 à 70 mg d'azote nitrique par kilogramme de poids corporel. Celle des nitrites varie aussi et est de 20 mg d'azote nitreux par kilogramme de poids corporel chez l'adulte [9].

Les nourrissons et les enfants sont particulièrement sensibles à l'induction d'une méthémoglobinemie par les nitrates et les nitrites ingérés avec l'eau et les aliments. On sait que l'absorption d'un litre d'eau à 25 mg/l de nitrate peut conduire à l'entrée dans l'organisme de 6 mg de nitrite si 1/3 seulement des nitrates ingérés sont réduits en nitrites (réduction endogène) [10]. C'est ainsi que des cas de méthémoglobinemies ayant conduit à la mort ont été signalés. Ceci, suite à l'utilisation d'une eau de puits contenant plus de 90 mg de NO_3^- /l [19].

Quand les ions nitriques sont absorbés dans l'organisme, il peut se passer ce qui suit : ces ions sont réduits en ions nitreux dans le sang où le fer ferreux (Fe^{2+}) de l'hémoglobine peut être oxydé en fer ferrique (Fe^{3+}) en produisant de la méthémoglobine. Celle-ci est inapte à fixer l'oxygène de l'air.

La toxicité aiguë par le nitrite est détecté par les cyanures, une décoloration bleu-pourpre de la peau et des lèvres. Elle a lieu quand 15% des hémoglobines sont oxydés en méthémoglobines. Une proportion de 70% et plus des hémoglobines totales peut être fatal à moins qu'un traitement par injection intraveineuse de bleu de méthylène ou de thionine soit prévus [9].

Dans les conditions normales et à doses usuelles de nitrates chez l'adulte, la méthémoglobine formée, se transforme rapidement en oxyhémoglobine sous l'action de système enzymatique tel que la NADH - méthémoglobine réductase. Si la capacité de reconversion est dépassée, la méthémoglobine atteindra des concentrations anormales. Les proportions normales de méthémoglobines étant de 1% de l'hémoglobine chez les adultes sains, 4% chez les enfants et 6% et plus chez les nourrissons qui ont des troubles respiratoires ou des diarrhées.

Chez les nourrissons de moins de 3 mois, ce système enzymatique n'est pas parfaitement développé, la quantité de méthémoglobine formée, risque d'augmenter et d'engendrer la méthémoglobinemie [19].

Dans les conditions normales ou pathologiques, on trouve à la fois les précurseurs organiques importants et les catalyseurs de la nitrosation dans les sites de l'organisme.

Les composés N-nitrosés sont génotoxiques du fait de l'alcoylation de l'ADN. Il y a d'abord dégradation (par hydroxylation) des grosses molécules en agents alcoylants (radicaux actifs). Les nitrosamines (Nam) nécessitent une activation métabolique qui met en oeuvre des systèmes hydroxylants au cytochrome P_{450}. Ces substances ne sont génotoxiques que pour des cibles où existe un système métabolique convenable. C'est parmi tous les sites possibles de l'alcoylation, de l'oxygène 6, de la guanine de l'ADN qui est déterminante quant à la génotoxicité.

Les CNN sont des initiateurs de cancérogenèse pour beaucoup d'espèces de tissus et de cellules animales et humaines.

La réaction est la suivante :
L'α-hydroxylation l'emporte sur la ß-hydroxylation

$$R - \underset{\underset{NO}{|}}{N} - CH_2 - R' + O \underset{\longleftarrow}{\xrightarrow{E}} R - \underset{\underset{NO}{|}}{N} - \underset{\underset{OH}{|}}{CH} - R'$$

Elle conduit à une alpha hydroxylamine très instable qui, après remaniement intramoléculaire, sans besoin d'enzyme, fournit R - NH - NO, une nitrosamine très instable d'une part et R - CHO c'est à dire un aldéhyde d'autre part.

Nous avons ensuite la réaction suivante :

$$R - NH - NO \longrightarrow R - N = N - OH$$

C'est une réaction non enzymatique qui fournit le composé très instable $R - N_2OH$. Ce composé bipôlaire est le point de départ de la réaction d'alcoylation d'un nucléophide Nu (base de l'ADN).

$$RN_2^+OH^- + Nu \xrightarrow{H^+,\ e^-} RNu + N_2 + H_2O$$

Les réactions de méthémoglobinémie et de cancérogénèse peuvent être modifiées. Cette modification peut se faire par accélération, diminution ou inhibition de la réaction. C'est le cas des composés phénoliques qui influencent la formation de CNN in vivo et in vitro. L'acide ascorbique et les tocophérols interviennent comme antioxydants et inhibiteurs de la nitrosation [10].

Les formes sous lesquelles nos légumes sont consommés peuvent influencer sur les téneurs en nitrates. C'est ainsi qu'un auteur dit que "si selon l'expression de TRUHAUT "c'est l'analyte qui fait le toxique", la cuisinière et l'organisme du consommateur peuvent le modifier totalement voir même le plus souvent le détruire. Régrettons une fois de plus que l'homme ne soit pas aussi tolérant de l'esprit qu'il l'est du corps." Malgré ces possibilités d'inhibition et de destruction des toxiques, il vaut mieux ne pas les avoir dans nos aliments surtout quant on sait que c'est l'homme qui en est responsable. On a coutume de le dire que " prévenir vaut mieux que guérir".

CONCLUSIONS GENERALES

A travers cette étude, la culture maraîchère est une activité qui est beaucoup pratiquée dans le district de Bamako comme partout dans le monde surtout aux abords des grandes villes.

Pour augmenter leur production et améliorer leurs productivités, les maraîchers utilisent des fertilisants organiques (ordures ménagères et fumier de ferme) et l'urée. Ainsi les deux types d'engrais sont utilisés pour la culture des laitues et choux tandis que la carotte ne reçoit que la fumure organique. Cet apport qui est d'une manière générale incontrôlé et massif a conduit à une élévation des téneurs des différents éléments fertilisants dans le sol. On note également de fortes téneurs en nitrates.

Cet abus d'engrais n'a pas été sans effets sur le sol, les eaux d'arrosage et les légumes. C'est ainsi que la partie superficielle du sol devient legère avec les structures suivantes limon-sableux et limon fin argileux.

L'excès de nitrates qui n'a pas été absorbé par les légumes est lessivé en profondeur. C'est pour cela que les eaux de certains puits provenant des zones maraîchères renferment de fortes teneurs en nitrates. Cette pollution des eaux d'arrosage est une menace pour la santé des populations qui vivent dans ces zones. Les plus fortes teneurs dépassent largement la limite fixée par l'OMS dans les eaux de boisson (10 ppm). Elles sont de 2 à 3 fois supérieures.

En ce qui concerne les légumes, leurs teneurs en cations sont élevées et dépassent souvent celles habituellement rencontrées dans les végétaux. Des variations notables de leurs teneurs en nitrates ont été constatées.

Le type de légume et le comportement du jardinier sont les principaux facteurs déterminants des variations de teneurs. Les résultats des analyses montrent que les laitues accumulent plus de nitrates que les choux et les carottes. Donc les risques sont plus grands avec les laitues qu'avec les deux autres.

Les plus fortes teneurs rencontrées dans les légumes dépassent de 2 à 3 fois celle admise par l'OMS (75 ppm). Malgré la fertilité élevée des sols maraîchers, les paysans continuent à apporter de grandes quantités d'engrais aux cultures. Cette pratique a pour conséquence à long terme une surfertilisation des sols maraîchers. La surfertilisation pouvant entrainer une baisse de la productivité par le déséquilibre qui existe entre les éléments présents. Il peut donc s'en suivre une mauvaise qualité des légumes d'où une réduction du gain des maraîchers.

Même si le cas des nitrates est connu, des teneurs élevées en oligo-éléments toxiques pour les plantes et l'homme peuvent se rencontrer dans le sol et les légumes suite à l'apport

incontrolé et massif d'engrais. Ce cas mérite donc une étude dans nos zones maraîchères. Des mesures urgentes s'imposent pour rationaliser l'utilisation des engrais. Ceci nous amène à faire les recommandations suivantes :

RECOMMANDATIONS

Compte tenu de la nécessité de l'utilisation des engrais pour les cultures maraîchères :

- Des actions communes doivent être menées par les pays en voie de développement pour valoriser l'utilisation rationnelle des ordures ménagères et du fumier de ferme pour les cultures maraîchères. Ceci pourra contribuer à l'assainissement de l'environnement.

- Une assistance aux maraîchers s'impose afin de les sensibiliser sur les effets néfastes des engrais chimiques et de l'utilisation incontrôlée et massif des engrais en général sur le sol, les eaux et les légumes donc sur la rentabilité et sur la santé de l'homme.

- Nos gouvernements doivent encourager les laboratoires de contrôle des denrées alimentaires et surtout des aliments à base de légumes préparés à l'avance et destinés aux enfants. Il s'agit de farines à base de légumes destinés aux enfants. Ceci, pour vérifier la présence ou non de dérivés nitrés qui peuvent provenir des légumes et réduire ainsi les risques d'intoxication (aigues ou chroniques).

- Développer les recherches dans les laboratoires d'analyse des sols, plantes et eaux pour permettre de mesurer les risques de pollution par certains éléments provenant des engrais. Des contrôles périodiques des eaux de puits, de mares et de cours d'eaux dans les zones à intenses activités agricoles sont nécessaires.

- Développer ou améliorer les méthodes de dosage des nitrates dans ces laboratoires.

- Les pays en voie de développement en général et le Mali en particulier doivent encourager les associations et organismes qui ont pour objectif la défense du consommateur non seulement sur le plan économique mais aussi sur le plan sanitaire.

- Nous invitons le gouvernement du Mali à mettre en place une commission interministérielle pour étudier les cas de pollutions dus aux pratiques agricoles modernes afin de dégager des solutions.

BIBLIOGRAPHIE

[1] - **Abdou DOUMBIA**

La fertilité des sols maraîchers dans la ville de Bamako exécutée au Laboratoire des sols de Sotuba, S.R.V.O., D.R.A., I.E.R.
Mémoire de fin d'études, E.N.SUP, Bamako, Mai 1987.

[2] - **Agronomy and Information Service Division**

Analycal methods of the service laboratory for soil, plant and water analysis.
Methods for analysis, Part I, Amsterdam June 1981.

[3] - **Bundesstelle für Entwick.**

Etude du marché des légumes frais à Bamako (Rép. du Mali). Septembre 1970.

[4] - **Dr. Daouda DEMBELE**

Situation actuelle des cultures maraîchères au Mali. Bamako, Janvier 1992.

[5] - **David W. MARTIN, Jr. PETER,A. MAYES, VICTOR W. RODWELL**

Précis de biochimie de Harper.
6ème édition française, Edition ESKA, QUEBEC/PARIS, 1985.

[6] - **F.A.O.**

Guide sur les engrais et la nutrition des plantes.
Engrais et nutrition végétale 9, Rome, 1987.

[7] - **F. RAMADE**

Ecotoxicologie.
Collection d'écologie 9, 2 ème édition révisée et augmentée, Ed. Masson Paris, 1979.

[8] - **Guy DEYSSON**

Cours de botanique générale. Tome III.
Physiologie et biologie des plantes vasculaires,
1 ème Partie (Nutrition et métabolisme), 1ème édition revue et augmentée,Ed SEDES, Paris 5 e, 1970.

[9] - **H. A. Van ROSMALEN.**
Background information on plants and plants analysis. Soil an plants analysis training course,Amsterdam, March 1981, p.121 - 123.

[10] - **Hugues Gounelle de PONTANEL**

Médécine et nutrition,n 5, T. XXIV, Paris 1988, p. 295 - 300

[11] - **I.E.R. / S.R.C.V.O, Laboratoire de sols**

Méthodes d'analyses des sols ,plantes, eaux. Bamako , septembre 1988.

[12] - **I.I.T.A** (International Institut of Tropical of Agriculture) Analyses des prélèvements pédologiques et végétaux. Manuel n 1, Ibadan (Nigeria), Avril 1981.

[13] - **J.L.GUIGNARD ,L.COSSON ,M. HENRY**

Abrégé de phytochimie et de pharmacognosie. Ed. Masson,paris,1985.

[14] - **lucie RANDOIN, Perre le GALLIC, Yvone DUPUIS A. BERNARDIN en collaboration avec Georges DUCHENE et Pierre BRUN**
Tables de composition des aliments.
Editions Jacques Lanore, Malakoff, p. 72.

[15] -**Michel SCHORDERET et collaborateurs**

Pharmacologie: des concepts fondamentaux aux applications thérapétiques.
Ed. Frison-roche (Paris), 1989.

[16] - **Mouctar TOGORA**

Etude de la qualité nutritive des fumiers de fermes et de déchets urbains; éssais en vase de végétation .
Mémoire de fin d'études ,I.P.R Katibougou,décembre 1983.

[17] - **Nouhoun KOITA**

Etude statistique des cancers digestifs en milieu chirurgical à Bamako (à propos de cent vingt cas)
Thèse E.N.M.P.,n 14, 1982

[18] - **O.M.S.**

Lutte contre la pollution de l'environnement associé au développement.
Série de rapports techniques, Genève, 1985.

[19] - **O.M.S. en liaison avec O.I.T et P.N.U.E.**

Nitrates , nitrites et composés N-nitroso.
Résumé d'orientation (critères d'hygiène de l'environnement n 5) , Genève, 1980

[20] - **O.M.S.**

Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques
Série de rapports techniques 791, Genève, 1990.

[21] - **P.BINET, J.P. BRUNEL**

Physiologie végétale II.
Ed. Doin, Beren & Cie, Paris VI,1968

[22] - **P. CRÉTÉ**

Précis de botanique tome II (systématique des angiospermes)
Ed. Masson & Cie ,1965.

[23] - **P. LEBEAU et M.M JANNOT**

Traité de pharmacie chimique , tome I
Ed. Masson & Cie, Paris VI ,1955 - 1956.

[24] - **P. Martin PRÉVEL , J. GAGNARD, P. GAUTIER**

L'analyse végétal dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales.
Ed.Technique et documentation (Lavoisier),Paris, 1984.

[25] - **P. ZEITOUN**

Progrès en cancérologie 1. Les cancers de l'appareil digestif
Ed. Doin , Paris , novembre 1981 , p.19-22.

[26] - **R. LAUMONIER**

Cultures légumières et maraîchères , Tome I.
Ed. J.B. Ballière.

[27] - **R. LAUMONIER**

Cultures légumières et maraîchères, Tome II
Ed. J.B. Ballière.

[28] - **R.R. PARIS Mme H. MOYSE**

Matière médicale. collection de précis de pharmacie sous la direction de M.M. JANNOT, Tome III (Pharmacognosie speciale Dicotyledones (suite)).
Ed. Masson & Cie , Paris VI , 1971 .

[29] **R .R. PARIS, Mme H. MOYSE**

Matière médicale. Collection de précis de pharmacie sous la direction de M.M. JANNOT, Tome III (pharmacognosie spéciale, Dicotyledones,(suite)).
Ed. Masson & Cie, Paris VIe, 1971.

[30] **S.E.C.I.D./U.S.A.I.D. -PROJET S.A.A.**

Agriculture générale, fertilisation des sols
1983, P. 92- 95

[31] **Dr Serge MONGEAU**

La simplicité volontaire,
Ed. Québec/Amérique-Montréal, 1985

[32] **W.J.VELDKAMP, A. TRAORE et M. K. N'DIAYE, M. K. KEITA, B. KEITA et M. BAGAYOKO.**

Fertilité des sols du Mali (Mali - Sud/Office du Niger)
Interpretation des données analytiques des sols et des plantes.
Cellule agropédologique, Bamako, Décembre 1991.

[33] **Zaïd El ASSAF, M. HAMON et F. PELLERIN**

Dosage des nitrates dans quelques aliments infantiles préparés à l'avance.
Ann. fals. exp. chim., Janv. 1982, 75, n 801, p. 29 - 31.

A N N E X E S

I

FICHE D'ENQUETE

Numéro de la fiche .....
Date de l'enquête .....
Lieu de l'enquête .....
Nom du jardinier .....

		ENGRAIS UTILISES				
		Azoté (urée)	Phos-phaté	Fumiers Animaux	Ordures	Autres
LEGUMES	Choux					
	Laitues					
	Carottes					
	Epinards					
	Aubergines					
	Concombres					
	Tomates					
	Persils					
	Oignons					
	Autres					

Raisons du choix

Prix : bas / élevé

Rendement

Quantités d'engrais utilisé par planche .....
Provenance de l'engrais .....
Durée d'exploitation de la parcelle .....

F I C H E D'E N Q U E T E

Date .....
Numéro du jadinier .....
Lieu de culture .....
Type de légume .....
Durée (depuis le jour du répiquage jusqu'au jour du prélèvement) .....

Engrais Utilisés	Nombre de fois	Stade de dévéloppement
Fumure Organique		
Urée		
Complexe		

SERMENT DE GALIEN

Je jure, en présence des maîtres de la faculté, des conseillers d 'ordre des pharmaciens et de mes condisciples;

D'honnorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et d eur témoigner ma réconnaissance en restant fidèle à leur enseignement;

D'exercer dans l'intérêt de la santé publique, ma profession ave onscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais le ègles de l'honneur, de la probité et du désintéressement;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes dévoirs envers le malad t sa dignité humaine.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon éta our corrompre les moeurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à me romesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j' anque.