

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université « Mouloud Mammeri » de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques
Département des Sciences Biologiques**



Mémoire

De fin d'études

**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie
Spécialité : Génétique et Amélioration des Plantes**

Thème

**Effet de l'interaction de différentes doses
de NxK sur les paramètres agronomiques et
technologiques chez une variété de tomate
industrielle (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**

Réalisé par : M^{me} FALI Sarah et M^{me} SI LAKHEL Souad.

Proposé et dirigé par : M^{me} Ghebbi K. Si SmaïL.

Devant les jurys :

Présidente : M^{me} GOUCEM. Maitre de conférences - B à l'UMMTO.

Examineur : M^r METNA B. Maitre assistant chargée de cours à l'UMMTO.

Examinatrice : M^{me} TALEB K. Maitre de conférences - B à l'UMMTO.

Promotion : 2014/2015

REMERCIEMENTS

Nous remercions le bon Dieu le plus puissant de nous avoir accordés santés, courages et volontés pour réaliser ce travail et qui nous a éclairés le chemin par la lumière de son immense savoir.

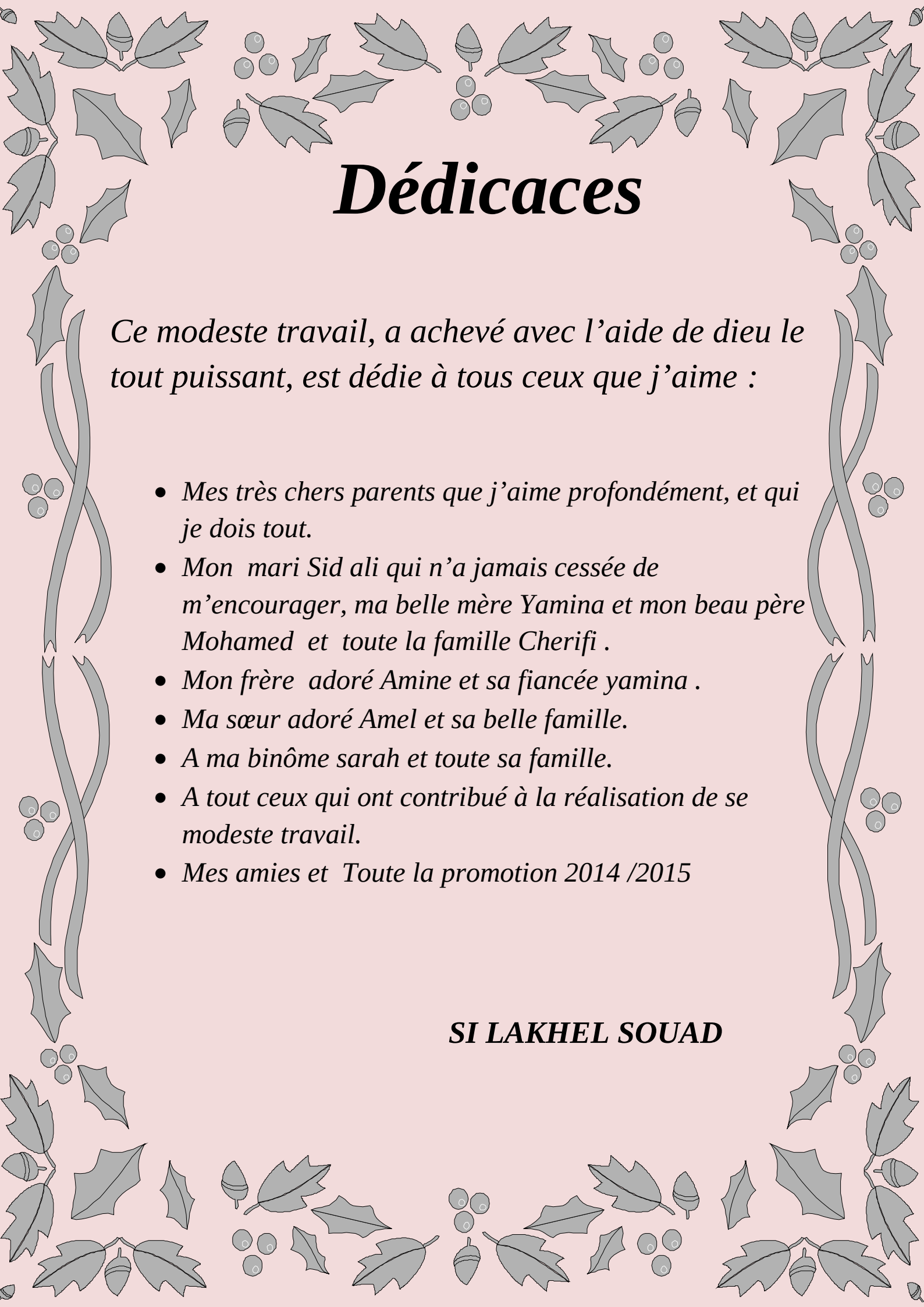
Nous exprimons toute nos gratitudes à notre promotrice Mme SI SMAIL - GHEBBI K. Maître assistant chargée de cours à l'UMMTO d'avoir accepté de diriger ce mémoire et qui nous a guidé avec ses conseils et ses encouragements durant l'élaboration de ce mémoire.

*Nos remerciements à la présidente du jury **M^{me} GOUCEM** Maitre de conférence classe B à l'UMMTO d'avoir accepté la présidence du jury.*

*Et aux examinateurs pour leurs conseils et l'intérêt qu'ils ont accordé à notre travail en acceptant de l'examiner: **M^r METNA** Maitre assistant chargé de cours à l'UMMTO,
M^{me} TALEB K. Maitre de conférences classe B à l'UMMTO.*

*Aux personnels de la station expérimentale de l'ITCMI des Issers, en particulier la directrice **M^{me} MOKRAB L**, et tous les ouvriers qui nous ont aidé tout au long de l'expérimentation, en particulier **M^r RACHID***

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Ce modeste travail, a achevé avec l'aide de dieu le tout puissant, est dédiée à tous ceux que j'aime :

- *Mes très chers parents que j'aime profondément, et qui je dois tout.*
- *Mon mari Sid ali qui n'a jamais cessée de m'encourager, ma belle mère Yamina et mon beau père Mohamed et toute la famille Cherifi .*
- *Mon frère adoré Amine et sa fiancée yamina .*
- *Ma sœur adoré Amel et sa belle famille.*
- *A ma binôme sarah et toute sa famille.*
- *A tout ceux qui ont contribué à la réalisation de se modeste travail.*
- *Mes amies et Toute la promotion 2014 /2015*

SI LAKHEL SOUAD



Dédicaces

À mes très chers et valeureux parents, qui m'ont appris le vrai sens de la vie et qui m'ont éduqué avec tout leur amour, patience, soutien, conseils et appuis continuels, je leurs dois le mérite pour ce que je suis devenue aujourd'hui.

- *Mon mari Arnold et ma belle famille*
- *Mes frères ali et macipsa*
- *Mes sœurs et leurs époux*
- *Mes adorables nièces thilelli et thaninna.*
- *Ma binôme souad*
- *Mes coupines.*
- *A tout ceux qui ont contribué à la réalisation de se modeste travail.*
- *Mes amies et Toute la promotion 2014 /2015*

Sarah fali

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Première partie : Etude bibliographiques

Chapitre 01 : présentation de la plante

1.Origine et historique de la tomate	3
2.Classification de la tomate	3
2.1.Classification botanique.....	3
2.2.Classification variétales	3
2.2.1.Variétés et croissance déterminé.....	4
2.2.2.Variétés et croissance indéterminé.....	4
2.2.3.Variétés buissonnante	5
2.3.Classe génétique.....	5
2.3.1.Variété fixé.....	6
2.3.2.Variété hybride.....	6
3.Morphologie de la tomate	6
3.1.Système racinaire	6
3.2.La tige	6
3.3.Feuilles.....	7
3.4.Fleur	7
3.5.Fruit.....	8
3.6.Graine.....	9
4.Caractéristiques morphologiques de la tomate	9
4.1.Appareil végétatif.....	9
4.2.Appareil reproducteur	10
4.3.Caractères physiologiques	11
4.3.1.Cycle biologique de la tomate.....	11
5.Exigences edapho-climatiques de la tomate	12
5.1.Exigences-édaphiques.....	12
5.2.Exigences climatiques.....	13
5.3.Exigences nutritionnelles	13
5.3.1.Exigences en eau.....	14

5.3.2.Exigences en éléments fertilisants	14
5.4.Valeur nutritionnelles de la tomate	16
6.Production de la tomate	16
6.1.Dans le monde	16
6.2.En Afrique.....	17
6.3.En Algérie	17
6.3.1.Zones de production de la tomate en Algérie	17
6.3.2.Contrainte de la production de la tomate en industrielle Algérie	18
7.Ravageurs et maladies de la tomate	20

Chapitre 02 : Fertilisation azotée, potassique et lycopène

1.Azote	22
1.1.Importance de l'azote dans la nutrition des plantes	22
1.1.1.Action de l'azote sur le rendement des cultures	23
1.2.Principales sources d'azote	23
1.2.1.Sol	23
1.2.2.Amendements organiques.....	23
1.2.3.Engrais minéraux	24
1.2.4.Plantes fixatrices d'azote	24
1.3.Fonction biologique de l'azote.....	25
2.Fertilisation potassique	25
2.1.Généralités sur le potassium	25
2.2.Fumiers organiques.....	26
2.3.Fertilisant minéraux	26
3.Rôle des différents minéraux nécessaire a la plante	26
3.1.Macroéléments (anion et cation).....	26
3.2.Macroéléments absorbés sous forme cation	26
3.3.Macroéléments absorbé sous forme d'anion.....	28
3.4.Oligoéléments	29
4.Potassium dans le sol	30
4.1.Forme de potassium dans le sol	30
4.2.Dynamique du potassium dans le sol.....	31
4.3.Transfert du potassium dans le sol.....	31
4.4.Rôle du potassium dans la plante.....	32
5.Pertes en potassium.....	33

5.1.Pertes par lessivage	33
5.2.Pertes par érosion.....	34
6.Interactions entre les éléments minéraux	34
6.1.Synergie	34
6.2.Antagonisme	34
6.2.1.Mécanisme d'antagonisme.....	35
6.3.Potassium et le lycopène	35
7.Potassium et santé humaine	35
8.Lycopène.....	36
8.1.Historique.....	36
8.2.Définition	36
8.3.Structure et propriétés du lycopène	37
8.3.1.Structure du lycopène	37
8.3.2.Propriétés du lycopène	37
8.4.Sources alimentaires du lycopène	37
8.5.Différentes actions du lycopène	38
8.5.1.Action anti-atérogène du lycopène	38
8.5.2.Action anti-cancérigène du lycopène.....	39
8.5.3.Action du lycopène sur le système immunitaire et le matériel génétique	39
8.5.4.Action du lycopène dans les autres tissus	40

Chapitre 03 : Itinéraire technique

1.Place de la tomate dans la rotation.....	41
2.Préparation du sol	41
2.1.Travail du sol	41
3.Fumure de fond	42
3.1.Production des plants	42
3.2.Semence	42
3.3.Pépinière	42
3.4.Choix des plants.....	43
4.Plantation	43
4.1.Période de plantation.....	43
4.2.Densité de plantation.....	44
4.3.Technique de plantation.....	44

5. Conduite de la culture	45
5.1. Fertilisation	45
5.1.1. Fumure organique	45
5.1.2. Fumure minérale	45
5.2. Irrigation	45
5.3. Soins culturaux.....	45
6. Récolte des fruits	46
7. Destination de la tomate.....	46
7.1. Caractéristiques de la tomate destinée à la transformation.....	46
7.1.1. Qualité visuelle	46
7.1.2. Qualité interne	47
7.2. Processus de transformation de la tomate industrielle.....	47

Deuxième partie : Matériels et méthodes

1. But de l'essai.....	49
2. conditions expérimentales	49
2.1. Situation géographique	49
2.2. Données climatiques	49
2.2.1. Température	50
2.2.2. Pluviométrie	50
3. Matériels et méthodes	52
3.1. Matériels utilisés	52
3.1.1. Matériels végétales.....	52
3.1.2. Fumure minéral	53
3.1.2.1. Fumure azotée.....	53
3.1.2.2. Fumure potassique	53
3.1.2.3. Fumure phosphatée	54
3.2. Méthodes d'étude	54
3.2.1. Nature de sol	54
3.2.2. Dispositif expérimental.....	55
3.3. Conduite de la culture	57
3.3.1. Production de plants en pépinière	57
3.3.2. Plantation	58

4. Maladies et traitements phytosanitaires	61
5. Paramètre étudiés	66
5.1. Paramètres agronomiques	66
5.1.1. Diamètre final de la tige principale cm.....	66
5.1.2. Hauteur de tige principale cm	66
5.1.3. Nombre de tige par plant.....	66
5.1.4. Nombre total de bouquets floraux par plant	66
5.1.5. Nombre de bouquet floraux par tige	67
5.1.6. Nombre de fleurs par plant	67
5.1.7. Nombre de fleurs par bouquet.....	67
5.1.8. Nombre total de fruits par plants	67
5.1.9. Nombre de fleurs avortées	67
5.1.10. Taux de nouaison	67
5.1.11. Calibre moyen d'un fruit (cm)	67
5.1.12. Poids moyen d'un fruit g.....	67
5.1.13. Poids total des fruits par plant (g)	67
5.1.14. Rendement potentiel (Qx/ha).....	68
5.1.15. Rendement réel (Qx/ha).....	68
5.2. Paramètres technologiques.....	68
5.2.1. Détermination de la teneur en eau du fruit.....	68
5.2.2. Détermination de la matière sèche du fruit%.....	69
5.2.3. Indice réfractométrique (Brix)	69
5.2.4. Détermination du PH	69
5.2.5. Acidité titrable (g/100ml)	70
5.2.6. Teneur en vitamine C.....	71
5.2.7. Dosage du lycopène et du B-carotène dans la tomate.....	71
5.2.8. Dosage des sucres	72
5.3. Etude statistique	75

Troisième partie : Résultats et discussion

1. Paramètres agronomiques	76
1.1. Diamètre finale de la tige principale (cm)	76
1.2. Nombre de tiges par plant	77

1.3. Hauteur final de tige par plant	78
1.4. Nombre de fleur par plant	79
1.5. Nombre de bouquet par plant.....	81
1.6. Nombre de bouquet par tige.....	82
1.7. Nombre de fleur par bouquet	84
1.8. Nombre de fleur avortée	85
1.9. Nombre de fruit par plant.....	86
1.10. Poids total des fruits par plant (g)	88
1.11. Taux de nouaison des fruits par plant (%)	90
1.12. Poids moyen des fruits par plant (g)	91
1.13. Rendement potontiel (qx/ha).....	92
1.14. Rendement réel par (qx/ha).....	94
1.15. Calibre moyen des fruits (cm).....	94
2. Paramètres technologiques.....	96
2.1. Teneur en eau du jus de tomate.....	96
2.2. Teneur en matière sèche du jus de tomate	98
2.3. Détermination des sucres totaux (g/l)	99
2.4. Détermination des sucres réducteurs (g/l)	100
2.5. PH du jus de tomate	102
2.6. Acidité titrable(g /100ml)	103
2.7. Dosage du lycopéne et du B-caroténe	105
2.7.1. Dosage du lycopéne(mg/l)	105
2.7.2. Dosages du B-caroténe (mg/l)	106
2.8. La vitamine C (acide ascorbique) (mg/l du jus de tomate).....	108
2.9. Indice réfractométrique (Brix)	109
Discussion générale	112
Conclusion	114
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Figure 1 : Fruit de tomate, variété Riogrande (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill)	4
Figure 2 : Mode de croissance de la tomate	5
Figure 3 : Système racinaire de la tomate	7
Figure 4 : Plant de tomate	7
Figure 5 : Feuilles du plant de la tomate	8
Figure 6 : Fleurs de tomate	8
Figure 7 : Coupe transversale (a) et longitudinale (b) du fruit d'une tomate à maturité	9
Figure 8 : Dynamique de potassium dans le sol	32
Figure 9 : Transfert du potassium dans le sol	33
Figure 10: Structure moléculaire du lycopène	38
Figure 11 : Préparation de sol.....	41
Figure 12 : Pépinière sous tunnel plastique.....	43
Figure 13 : Plantation de la tomate	44
Figure 14 : Récolte des fruits de tomates	46
Figure 15 : Carte géographique et limites administratives de la région des Isser ville.....	49
Figure 16 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.....	51
Figure 17 : Fruits de la variété Riogrande	52
Figure 18 : Dispositif expérimental de l'essai.....	56
Figure 19 : Présentation schématique d'une unité d'essai expérimental	57
Figure 20 : Vue générale de la parcelle expérimentale	57
Figure 21 : Semis en pépinière de la tomate	58

Figure 22 : Plantes de tomate à différents stades de développement	60
Figure 23 : Maturation des fruits de tomates au stade noisette	65
Figure 24 : Perte en fruits a maturité après la récolte.....	65
Figure 25 : Matériel utilisée au laboratoire	75
Figure 26 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le diamètre final de la tige principale..	76
Figure 27 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le nombre de tige par plant....	77
Figure 28 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la hauteur finale la tige principale.....	79
Figure 29 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le nombre de fleur par plant ..	80
Figure 30 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le nombre de bouquet par plant.....	81
Figure 31 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le nombre de bouquet par tige.....	83
Figure 32 : Effet de l'interaction de différentes doses de NxK sur le nombre de fleur par bouquets	84
Figure 33 : Effet de l'interaction de différentes doses de NxK sur le nombre de fleurs avortées/plant ..	85
Figure 34 : Effet de l'interaction de différentes doses de NxK sur le nombre de fruits par plant	87
Figure 35 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le poids total des fruits par plant	89
Figure 36 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le taux de nouaison	90
Figure 37 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le poids moyen d'un fruit par plant.....	91
Figure 38 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le rendement potentiel Qx/ha .	93
Figure 39 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le rendement réel Qx/ha	94
Figure 40 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le calibre moyen des fruits	95
Figure 41 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la teneur en eau	97
Figure 42 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la teneur en matière sèche	98
Figure 43 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur les sucres totaux du jus de tomate	100
Figure 44 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur les sucres réducteurs du jus de tomate	101

Figure 45 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le pH de jus de tomate.....	102
Figure 46 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur l'acidité titrable du jus de tomate.....	104
Figure 47 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la teneur en lycopène du jus.	105
Figure 48 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la teneur en B-carotène	107
Figure 49: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la teneur en vitamine C	108
Figure 50 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le Brix.....	110

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs nutritionnelles moyennes pour 100 g de tomate	16
Tableau 2 : Premiers pays producteurs de la tomate dans le monde en 2012	18
Tableau 3 : Contraintes de production de la tomate industrielle en Algérie	19
Tableau 4 : Principales maladies de la tomate	20
Tableau 5 : Principaux ennemis animaux de la tomate	21
Tableau 6 : Concentrations en lycopène de différents fruits	38
Tableau 7 : Températures mensuelles au cours de la campagne agricole 2014/2015.....	50
Tableau 8 : Pluviométrie mensuelle au cours de la campagne agricole 2014/2015.....	50
Tableau 9 : Caractéristiques de la variété de tomate industrielle, Riogrande	52
Tableau 10 : Fractionnement des quantités fertilisantes (N) aux cours de l'essai	53
Tableau 11 : Résultat de l'analyse physico-chimique du sol	54
Tableau 12 : Conduite de la tomate en plein champ	59
Tableau 13 : Différents traitements phytosanitaires.....	61
Tableau 14 : Principaux insectes et mauvaises herbes rencontrés au cours de l'essai	61
Tableau 15 : Pertes en fruits lors de la récolte	63
Tableau 16 : Diamètre finale de la tige principale	76
Tableau17 : Résultats de l'analyse de la variance du diamètre final de la tige principale	77
Tableau 18 : Nombre de tiges par plant	77
Tableau19 : Résultats de l'analyse de la variance du nombre de tiges par plant	78
Tableau 20: Test de NEWMAN-KEULS du nombre de tiges par plant	79
Tableau 21 : Hauteur finale de la tige par plant	79

Tableau 22 : Résultats de l'analyse de la variance sur la hauteur de tige par plant	79
Tableau 23 : Nombre de fleurs par plant.....	80
Tableau 24 : Résultats de l'analyse de la variance sur le nombre de fleurs par plant.....	80
Tableau 25 : Test de NEWMAN-KEULS de nombre de fleurs par plantes	81
Tableau 26 : Nombre de bouquet par plant	81
Tableau 27 : Résultats d'analyse de la variance sur le nombre de bouquets par plant	82
Tableau 28 : Test de NEWMAN-KEULS de nombre de bouquets par plante	82
Tableau 29 : Nombre de bouquet par tige	82
Tableau 30 : Résultats d'analyse de la variance sur le nombre de bouquets par tige	83
Tableau 31 : Nombre de fleurs par bouquet.....	84
Tableau 32 : Résultats d'analyse de la variance sur le nombre fleurs par bouquet.....	85
Tableau 33 : Nombre de fleurs avortées par plant.....	85
Tableau 34 : Résultats d'analyse de la variance sur le nombre de fleurs avortées par plant.	86
Tableau 35 : Test de NEWMAN-KEULS de nombre de fleurs avortées par plant	86
Tableau 36 : Nombre de fruits par plant.....	87
Tableau 37 : Résultats de l'analyse de la variance du nombre de fruits par plant	88
Tableau 38 : Test de NEWMAN-KEULS de nombre de fruits par plant	88
Tableau 39 : Poids total des fruits par plant	88
Tableau 40 : Résultats de l'analyse de la variance sur le poids totale des fruits par plant.....	89
Tableau 41 : Test de NEWMAN-KEULS de poids total des fruits par plant	90
Tableau 42 : Taux de nouaison des fruits par plant.....	90
Tableau 43 : Résultats de l'analyse de la variance sur le Taux de nouaison des fruits	91

Tableau 44 : Poids moyen d'un fruit par plant.....	91
Tableau 45 : Résultats de l'analyse de la variance sur poids moyen d'un fruit	92
Tableau 46 : Test de NEWMAN-KEULS sur poids moyen d'un fruit par plant	92
Tableau 47 : Rendement potentiel /ha	92
Tableau 48 : Résultats de l'analyse de la variance sur Rendement potentiel /ha	93
Tableau 49 : Rendement réel qtx/ha.....	94
Tableau 50 : Résultats d'analyse de la variance sur le rendement réel	94
Tableau 51 : Calibre moyen des fruits.....	95
Tableau 52 : Résultats de l'analyses de la variance sur le Calibre moyen des fruits	96
Tableau 53 : Teneur en eau dans le jus de tomate.....	96
Tableau 54 : Résultats de l'analyse de la variance sur la teneur en eau dans le jus.....	97
Tableau 55 : Test de NEWMAN-KEULS sur la teneur en eau dans le jus de tomate	97
Tableau 56 : Teneur en matière sèche du jus de tomate.....	98
Tableau 57 : Résultats de l'analyse de la variance sur la teneur en matière sèche	99
Tableau 58 : Test de NEWMAN-KEULS de la teneur en matière sèche	99
Tableau 59 : Sucres totaux de jus de tomate	99
Tableau 60 : Résultats de l'analyse de la variance sur les sucre totaux	100
Tableau 61 : Sucres réducteurs de jus de tomate.....	101
Tableau 62 : Résultats de l'analyse de la variance sur les sucres réducteur	101
Tableau 63 : Test de NEWMAN-KEULS sur les sucres réducteurs.....	102
Tableau 64: PH de jus de tomate.....	102
Tableau 65 : Résultats d'analyse de la variance du pH de jus de tomate.....	103
Tableau 66 : Test de NEWMAN-KEULS du pH de jus de tomate.....	103

Tableau 67: Acidité titrable du jus de tomate.....	103
Tableau 68 : Résultats de l'analyse de la variance de l'acidité titrable.....	104
Tableau 69 : Test de NEWMAN-KEULS de l'acidité titrable.....	105
Tableau 70 : Teneur en lycopéne du jus de tomate mg/l.....	105
Tableau 71 : Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en lycopéne	106
Tableau 72 : Test de NEWMAN-KEULS de la teneur en lycopéne	106
Tableau 73 : Teneur en B-caroténe mg/l	106
Tableau 74 : Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en B-caroténe	107
Tableau 75 : Test de NEWMAN-KEULS du B-caroténe	108
Tableau 76 : La vitamine C du jus de tomate mg/l	108
Tableau 77 : Résultats de l'analyse de la variance de vitamine C du jus de tomate	109
Tableau 78 : Brix du jus de tomate.....	109

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

APA : Agriculture, pêches et aquaculture de Canada

ATP: Adénosine triphosphate

B : Bloc

BAC : Bloc Aléatoire Complet

F.A.O: Cultural and Agricultural Organization.

INA: Institut National d'Agronomie.

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique.

ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles.

MADR : Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural.

MF : matière fraîche.

OMS : organisation mondiale de la santé

pH : Potentiel hydrique

Pro : Probabilité

SAU : surface agricole utile

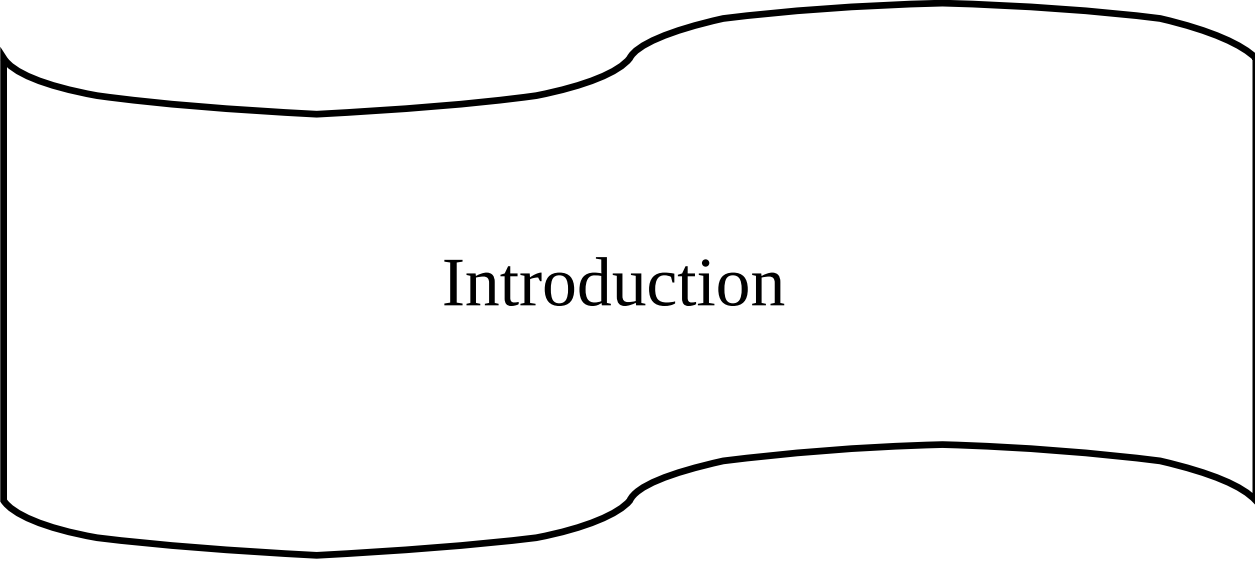
Var : variable

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

D : Dose d'azote

K : Dose de potasse

DRDR : Document Régional de développement Rural



Introduction

Introduction

La tomate d'espèce *Lycopersicon esculentum* Mill. Appartient à la famille des solanacées. C'est une plante herbacée annuelle originaire des Andes et d'Amérique, elle est très cultivée pour son fruit consommé à l'état frais ou transformé (Chaux et Foury, 1994)

Dans le monde entier, la tomate occupe la deuxième place après la pomme de terre que ce soit dans la production ou la consommation (Trichpoulou et Lagio, 1997). En Algérie, la tomate est beaucoup plus consommée sous forme industrielle, Baci (1993) estime que sa consommation annuelle sous forme concentrée avoisinerait les 4 kg par an et par habitant

La tomate est d'une richesse Organoleptique appréciable, elle est parmi les premiers apports en vitamine C dans notre Organisme. Comme pour tous les fruits et légumes, son faible contenu calorique et ses micronutriments participent à une alimentation équilibrée, qui prévient l'obésité et les maladies cardiovasculaires. Le fruit tomate est riche en vitamine A, B et en élément minéraux indispensable à l'organogenèse, ainsi qu'en antioxydants notamment le lycopène qui contribue à la lutte contre les maladies dégénératives. Il en est de même pour les éléments minéraux tels que le potassium (Baci, 1993).

La nutrition minérale est à la base de hauts rendements notamment la fertilisation azotée et potassique, pour cela, afin d'évaluer la qualité nutritionnelle et technologique de la tomate nous avons étudié l'interaction de différentes doses de NxK sur les paramètres agronomiques et technologiques chez une variété la tomate industrielle « Riogrande », cultivée en plein champ au niveau de l'Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles des Issers ville.

La tomate est soumise à de nombreux programmes mis en place par le ministère de l'agriculture visant un meilleur développement de la filière, à savoir les systèmes d'irrigation modernes, choix des variétés résistantes et productives. Mais différentes contraintes sont à l'origine de la baisse du rendement, à savoir:

- ✓ Faible utilisation des nouvelles techniques de production, semences sélectionnées.

Introduction

- ✓ Non respect du calendrier cultural.
- ✓ Absence de traitements préventifs contre les attaques parasitaires.
- ✓ Faible couverture des besoins en éléments fertilisants qui reste une contrainte importante pour l'augmentation des rendements.

C'est dans ce contexte que nous nous menons ce présent travail qui consiste à évaluer l'importance de la fertilisation potassique chez une variété de tomate industrielle cultivées en plein champs.

A cet effet notre étude sera structurée en deux parties :

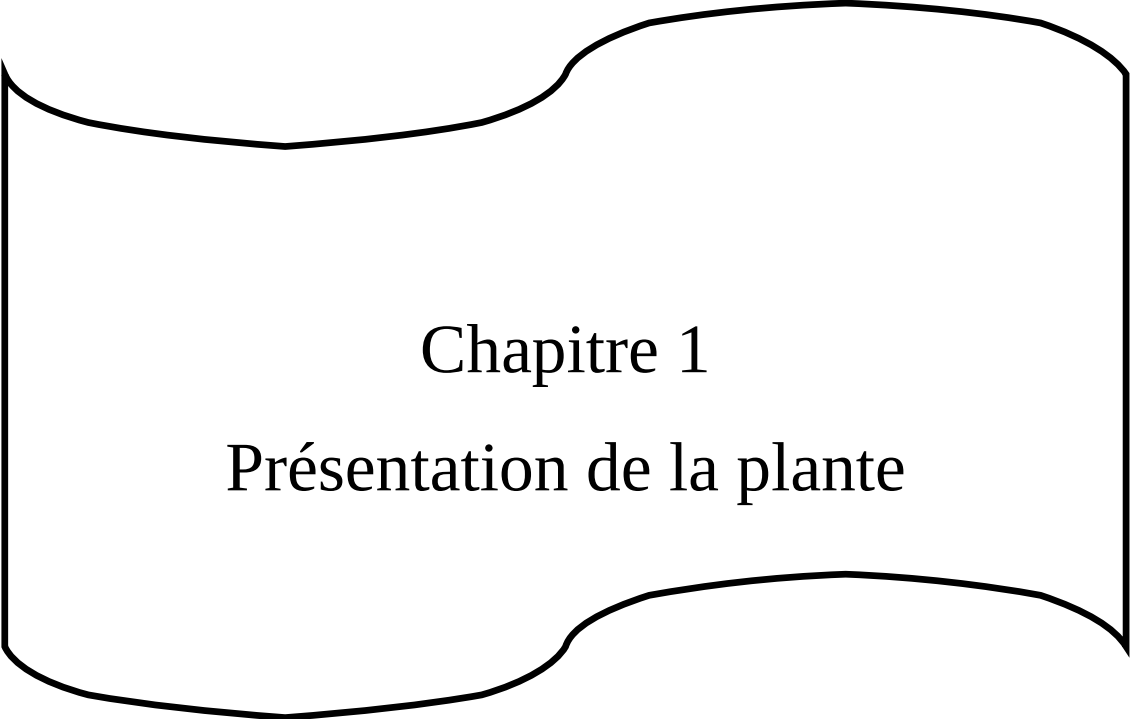
Une partie bibliographique qui comprend trois chapitres :

- Le premier présente la plante de tomate.
- Le deuxième présente fertilisation azotée, potassique et importance de lycopène.
- Le quatrième présente l'itinéraire technique de la tomate industrielle.

La deuxième partie concerne la partie expérimentale qui comprend deux chapitres :

- Le premier est relatif au matériel et méthodes utilisés, l'objectif de l'étude ainsi que la conduite expérimentale ;
- Le deuxième consiste en la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.

Le document se termine par une conclusion générale et des perspectives.



Chapitre 1

Présentation de la plante

1. Origine et historique de la tomate

La tomate du genre est originaire des Andes d'Amérique du Sud, dans une zone allant du Sud de la Colombie au nord du Chili et de la Côte pacifique, aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe au XVI^{ème} siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac (Shankara et al., 2005).

Chaux et Foury (1994) rappellent que le genre *Lycopersicon* comprend neuf espèces, dont une seule espèce *Lycopersicon esculentum* sous sa forme sauvage cerasiforme qui est directement à l'origine de nos variétés.

2. Classification de la tomate

Les Solanacées regroupent d'autres espèces que la tomate, telles que la pomme de terre, le tabac, le poivron et l'aubergine (Wageningen, 2005).

2.1. Classification botanique

Selon **Cronquist (1981)** ; **Gaussen et al. (1982)**, la tomate est classé :

- Règne Plantae
- Classe.....Magnoliophyta
- Sous classe Asteridae
- Ordre Solonales
- Famille.....Solanaceae.
- Genre.....*Solanum* ou *Lycopersicon*
- Espèce.....*Lycopersicon esculentum* Mill.

2.2. Classification variétale

De très nombreuses variétés de tomate sont cultivées. La sélection faite par les hommes a privilégié les plantes à gros fruits. On distingue effectivement plusieurs catégories de tomates qui sont classées selon leurs caractères botaniques, morphologiques et selon le mode de croissance de la plante, qui déterminent l'aspect et le port que revêt le plant. Ainsi, la plupart des variétés ont un port dit indéterminé, à l'opposé des autres dites à port déterminé ayant un port buissonnant (**Naika et al., 2005**).

2.2.1. Variétés à croissance déterminée

Selon **Laumonnier (1979)**, les variétés de tomate à croissance déterminée sont des variétés naines, caractérisées par l'absence de la dominance apicale (Figure 2 (1b)). La croissance de ces variétés s'arrête naturellement, une fois que la plante a produit un nombre déterminé de bouquet de fleurs. La croissance se termine par un bouquet floral.



Figure 1. Fruit de tomate, variété Riogrande (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

(Originel, Aout 2015).

Ces variétés ne nécessitent ni tuteurage, ni ébourgeonnage et même pas la taille. Leur production est échelonnée sur 3 à 4 récoltes. Cette tomate est destinée à la transformation pour la conservé (**Polese, 2007**).

Selon **Chelha (2005)**, les variétés les plus utilisées en Algérie sont: Riogrande, Chico III et Aicha.

2.2.2. Variétés à croissance indéterminée

Les variétés à croissance indéterminée sont plus nombreuses, elles continuent de pousser et donner des bouquets floraux de façon indéfinie (**Philouze, 1999**).

On peut arrêter la croissance par un pincement du bourgeon terminal à la hauteur souhaitée généralement à partir du 4^e ou 5^e bouquet (**Laumonnier, 1979**). La tige doit

être attachée à un tuteur aussi, il est nécessaire de les tailler et de les ébourgeonner régulièrement (Figure 2(a)).

Selon **Chelha (2005)**, la plupart des variétés maraîchères à croissance indéterminée cultivées sont : Tango Lucy, Ringo et Trésor, Tavira, Dawson et autres

2.2.3. Variétés buissonnantes

Les variétés buissonnantes se distinguent par des tiges épaisses et robustes avec des inflorescences serrées. Elles ressemblent aux tomates à croissance déterminée mais elles ne sont pas cultivées en Algérie (Atherton et Harris, 1986).

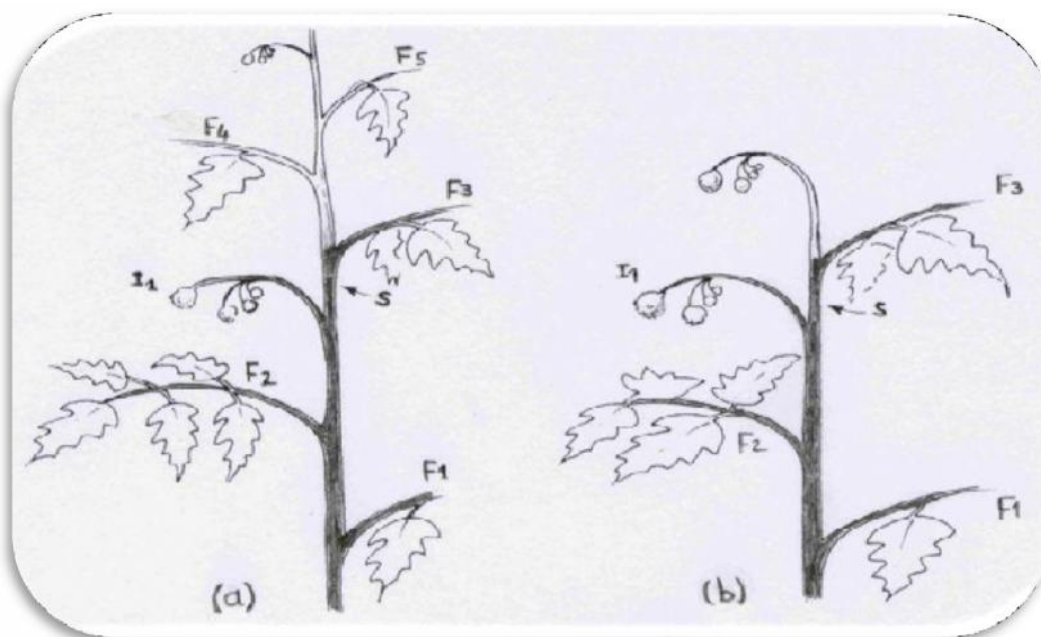


Figure 2. Mode de croissance de la tomate : (a) indéterminée, (b) déterminée (**Atherton et Harris, 1986**).

Légende : F1 à F5 : Feuille 1 à 5. I1: Inflorescence 1. S: Sympode.

2.3. Classification génétique

La tomate d'espèce *Lycopersicon esculentum* Mill. est une espèce diploïde avec $2n=24$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants monogéniques, dont certains sont très importants pour la sélection. Sa carte chromosomique compte actuellement 253 gènes localisés avec précision (**Gallais et Bannerot, 1992**).

La structure de la fleur assure une cleistogamie (autogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame. On peut avoir jusqu'à 47% de fécondation croisée dans la nature **(Publishers, 2004)**. Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux variétés qui sont :

2.3.1. Variétés fixées

Plus de cinq-cents variétés de tomate fixées existent. Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (Polese, 2007).

2.3.2. Variétés hybrides

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes puisqu'elles n'existent que depuis 1960 **(Polese, 2007)**.

Elles présentent la faculté de réunir plusieurs caractères d'intérêts agronomiques et nutritionnels grâce à l'effet hétérosis **(Gallais et Bannerot, 1992)**.

3. Morphologie de la tomate

La tomate est une plante herbacée annuelle, appartenant au groupe des légumes – fruits **(Baba aissa, 1999)**. Les différentes parties de la plante sont :

3.1. Système racinaire

Chez la tomate une forte racine pivotante (Figure 3) pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une forte densité de racines latérales et adventives **(Shankara, 2005)**.

3.2. Tige

Chez la tomate la tige est poilue, épaisse présentant des entre-nœuds. (Figure 4) On trouve deux sortes de poils sur la tige et les feuilles : des poils simples et des poils glanduleux qui contiennent une huile essentielle caractérisant l'odeur particulière de la tomate.

3.3. Feuille

Chez la tomate, les feuilles (Figure 5) sont disposées en spirale, elles sont composées de 5 à 7 folioles principales et d'un certain nombre de folioles intercalaires. Ces feuilles sont alternées sur la tige.



Figure 3. Système racinaire de la tomate (Originel, septembre 2015).



Figure 4. Plant de tomate (Originel, Juillet, 2015).

3.4. Fleur

La fleur de la tomate est hermaphrodite. Le pistil est entouré d'un cône de 5 à 7 étamines. Les pétales sont soudés en forme d'étoile à cinq pointes, de couleur jaune vif. (Figure 6) Elles sont réunies en cyme et s'épanouissent de fin Mai à Septembre. Selon **Rey et Costes (1965)**, la tomate présente une structure qui facilite l'autogamie,

la fleur est de type pentamère dont la formule florale est la suivante : FF : 5 Sépales + 5 Pétales + 5 Etamines + 2 Carpelles.



Figure 5. Feuilles du plant de la tomate (Originel, 2015).



Figure 6. Fleurs de tomate (Originel, 2015).

3.5. Fruit

La tomate est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie (Figure 7) ayant un diamètre de 2 à 15 cm. Au stade jeune, le fruit est vert et poilu, en revanche la couleur des fruits mûrs varie du rouge au jaune en passant par l'orange. Le fruit à maturité peut se présenter soit rond et régulier ou côtelé.

3.6. Graine

Les graines de tomate sont réniformes (Figure 7). Elles sont poilues, de couleur beige, de 3 à 5 mm de longueur et de 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines sont présentes en moyenne dans 2.5 à 3.5 g (**Goffau, 2005**).

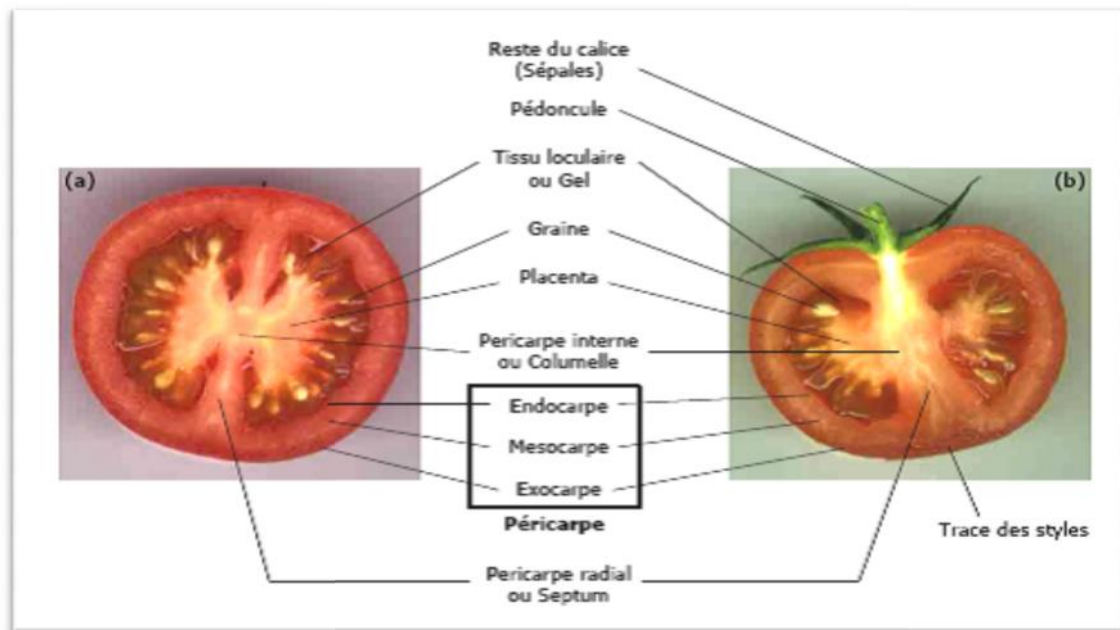


Figure 7. Coupe transversale (a) et longitudinale (b) du fruit d'une tomate à maturité (Source :Gillapsy, 1993 in Zidani, 2009).

4. Caractéristiques morphologiques de tomate

4.1. Appareil végétatif

Le système racinaire est puissant, pouvant atteindre une profondeur de trois mètres dans les sols alluviaux profonds.

Le plant est constitué par un axe principal issu de la graine ; cet axe présente une croissance monopodiale. Il est formé par une succession d'entre nœuds séparés par des nœuds (**Jebari-Bennani, 1986**). Le port est buissonnant mais, peut devenir linéaire par ébourgeonnage et tuteurage.

Les feuilles sont composées, alternes et odorantes.

4.2. Appareil reproducteur

Les fleurs sont généralement pentamères à pétales soudés et hermaphrodites, leur Structure rend difficile l'allogamie. Elles sont regroupées en inflorescences ou bouquets d'une dizaine d'unités (ce chiffre est très variable). Les inflorescences de certains génotypes peuvent présenter jusqu'à 100 fleurs. Suivant le type de croissance, elles alternent très régulièrement avec le nombre de feuilles : chaque bouquet étant séparé par trois feuilles et la plante présente un nombre infini d'inflorescences dans le cas de la croissance indéterminée (**Jebari-Bennani, 1986**) ou plus irrégulièrement dans le cas de la croissance déterminée. Dans ce cas, le nombre de feuilles entre bouquets diminue jusqu'à ce que la tige se termine par une inflorescence (Rick, 1978).

Les fruits sont des baies charnues à plusieurs loges carpellaires. Chaque loge est remplie d'un gel dans lequel il ya les grains. Quatre phases caractérisent le développement du fruit :

- Le développement de l'ovaire activé par la fécondation.
- Les divisions cellulaires qui s'étendent sur une période de 5 à 10 jours, l'activité mitotique étant principalement active dans le péricarpe. A la fin de cette phase, commencent les divisions cellulaires dans les embryons.
- L'expansion cellulaire, active jusqu'à ce que le fruit atteigne sa taille finale. A ce stade, la force de puits du fruit est exercée par les cellules en expansion. Pour la plupart des espèces, l'expansion cellulaire est un paramètre primordial de la taille finale du fruit.

o le mûrissement qui est activé par l'induction de l'hormone éthylène; durant cette phase, le fruit subit des changements biochimiques et physiologiques qui incluent le ramollissement, le changement de couleur et le radoucissement associé avec une diminution de l'acidité et une augmentation de la teneur en composés aromatiques (**Gillaspy et al., 1993**).

Les fruits de tomate peuvent présenter des formes très diverses (plus ou moins aplaties, rondes, cordiformes, piriformes, ...) mais les cultivars modernes européens ou nord-américains sont soit de forme approchant l'arrondi (destinés à la consommation) ou plus ou moins allongés (destiné à la transformation).

4.3. Caractères physiologiques

De nombreux travaux ont été faits sur la tomate, son cycle biologique et assez bien connu, ainsi que ses exigences, lui permettant un développement optimum et une bonne productivité (Heller, 1978).

4.3.1. Cycle biologique de la Tomate

Le cycle de développement de la tomate comprend cinq phases

- **Phase de germination**

La germination se traduit par la sortie des racines séminales et le coléoptile qui émerge en surface pour se développer en pré feuilles simple, cette phase se déroule en pépinière, la première feuille va percer le coléoptile qui devient fonctionnel. Une fois les premières feuilles apparues, le coléoptile se dessèche, Il faut noter que pour avoir une bonne levée, la pépinière doit être préparée dans des bonnes conditions.

- **Phase de croissance**

La croissance des plants se déroule en deux phases dans deux milieux différents : En pépinière et au plein champ ou sous serre.

Dans la première étape, la croissance dure de la levée jusqu'au stade six feuilles, où la plante assure la formation de racines fonctionnelles qui vont assurer l'alimentation de la plante en eau et en élément nutritifs. A la partie aérienne, la tige s'allonge et forme des feuilles.

A partir du stade six feuilles la plante est transférée de la pépinière pour être plantée en plein champ et continuer ainsi sa croissance. La tige augmente en hauteur et le nombre de feuilles va progresser.

- **Phase de floraison**

Environ, un mois après le semis, la tomate entre émet des fleurs. La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs.

- **Phase de fécondation**

Quand les organes floraux arrivent à maturité, le pollen est libéré la fécondation se traduit par l'apparition des petits fruits verts.

- **Phase de fructification et maturité**

C'est l'époque de formation du fruit, cette période dépend de la variété (précoce ou tardive), de la conduite de la culture (entretien, irrigation) et de l'alimentation minérale, éléments nutritifs (**Naika et al., 2005**). Ces fruits augmentent de calibre, de poids, et au fur et à mesure du grossissement de fruit, la couleur change du vert au rouge qui représente le stade de maturité. Nous avons les stades suivants :

- Stade noisette : le plus proche de la nouaison.
- Stade noix : environ trois cm de diamètre.
- Stade vert : grossissement maximal, avec une coloration verte.
- Stade tournant : grosseur maximal, coloration rose à jaune, c'est le début de maturation.
- Stade rouge : fruit mur et fermé.

5. Exigences edapho-climatiques de la Tomate

La tomate a des exigences particulières : sensible au froid, craint le gel, et les vents chauds mais très exigeante en température (**Polese, 2007**).

5.1. Exigences édaphiques :

- **Nature du sol**

La culture de tomate n'est pas exigeante en sol, cependant les sols légers perméables et riches en humus lui sont très favorables (**Laumonnier, 1979**).

- **Température du sol**

La température est un facteur très important pour la germination. Aux basses températures (au dessous de 12°C) la végétation est très faible et les plantes forment des inflorescences d'une structure anormale qui portent peu de fleurs. Aux températures élevées (au dessus de 35°C), la végétation s'arrête.

D'après **Rey et Costes (1965)**, l'effet de la température du sol sur la germination se traduit par des variations de la vitesse de germination et du pourcentage de levée, cette vitesse de germination augmente avec la température jusqu'à une valeur optimale de 25°C et entre 15 et 20°C pour un meilleur pourcentage de levée.

- **Aération du sol**

Selon **Chaux et Foury (1994)**, il convient d'éviter les sols battants, mal aérés et mal structurés en profondeur. Cela ralenti la germination et la levée des jeunes plants en pépinière, de même qu'elle réduit le nombre de boutons floraux en plein champ.

La culture de tomate craint l'excès d'humidité et la stagnation d'eau dans le sol et ce même si elle est temporaire, l'humidité optimale du sol et de l'ordre de 75 à 80%.

- **pH du sol**

La tomate est peu sensible aux variations du PH, de 4,5 à 8,2 les rendements sont presque identiques (**Benchallal, 1983**). Cependant **Chaux et Foury (1994)**, indiquent que le meilleur équilibre nutritionnel est assuré par un PH compris entre 6 et 7.

- **Salinité du sol**

La culture de tomate est moyennement sensible à la salinité, elle peut supporter jusqu'à 4g /l dans la solution du sol.

Sa grande extension dans les pays méditerranéens et surtout due à son accommodation aux sels.

5.2. Exigences climatiques

- **Température** : la tomate demande un climat relativement frais et sec pour atteindre une récolte abondante et de qualité. Les températures optimales pour la plupart des variétés se situent entre 21 et 24°C. les plantes peuvent surmonter un certain intervalle de température, mais en dessous de 10°C et au dessus de 38°C les tissus végétaux sont endommagés. L'équilibre et l'écart entre les températures diurnes et nocturnes, semble nécessaire pour obtenir une bonne croissance et une bonne nouaison de la tomate (**Shankara, 2005**).
- **Lumière** : la tomate n'est pas sensible au photopériodisme, mais, exigeante en énergie lumineuse. La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et du développement de la plante. un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (**Cirad et Gret, 2002**) en outre, l'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits.

- **Eau et humidité** : la plante est très sensible à l'hygrométrie, elle ne tolère pas les sols engorgés. cependant une hygrométrie relative de 60% à 65% serait la meilleure pour la fécondation. En effet, lorsque l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Par ailleurs, le développement des maladies cryptogamiques est fortement lié à ces fortes humidités accompagnées de la chaleur (**Laumonnier, 1979**). Il est essentiel de prévoir un apport d'eau suffisant pendant la fructification. Le stress causé par un manque d'eau et les longues périodes arides fait tomber les bourgeons et les fleurs et provoque le fendillement des fruits (**Munro et Small, 1998**).

5.3. Exigences nutritionnelles

5.3.1. Exigence en eau

Chez la tomate, pour un cycle de 90 à 120 jours le besoin en eau de 400 à 600 mm/ha et cela varie selon le climat (**Bentvelsen, 1980**).

Les stades physiologiques où les besoins en eau sont critiques sont la floraison et le grossissement des fruits (**Chibane, 2009**).

L'excès en eau provoque l'asphyxie racinaire, ce qui entraîne une déficience en Mg, en P_2O_5 provoquant ainsi la chute des fleurs, tandis qu'un manque d'eau augmente la salinité qui peut entraîner la pourriture apicale du fruit (**FAO, 1988**). Cependant lorsque les tomates subissent un stress hydrique, la quantité de solides solubles augmente, ce qui se traduit par un meilleur rendement pour l'usine de transformation (**Leboeuf, 2013**).

5.3.2. Exigence en éléments fertilisants

La quantité d'engrais à fournir varie d'une région à l'autre, en fonction notamment du climat, de la richesse du sol, et de la technique d'irrigation.

En générale, on estime les exigences en fumure des plants en fonction de l'exportation globale de la culture. En dépit des différences régionales, on admet qu'une production d'une tonne de tomate requiert selon (**FAO, 1988**).

2,2 à 2,7 Kg de N

0,7 à 0,9 Kg de P_2O_5

3,0 à 3,9 Kg de K₂O

5,0 à 6,0 Kg de CaO

0,5 à 1,0 Kg de MgO

5.4. Valeur nutritionnelle de la Tomate (tableau 1)

Les conditions de culture de la tomate peuvent affecter de façon positive sa valeur nutritive. De nombreuses études épidémiologiques ont montré que la consommation de fruits et légumes ont un rôle dans la prévention des maladies chroniques et diminuait la mortalité par cancer et des maladies cardiovasculaires (**Giovannucci et al., 2010**).

La tomate constitue un bon réservoir d'antioxydants, comme le lycopène, l'acide ascorbique, la vitamine E, les flavonoïdes et les composés phénoliques. Dans ce contexte, ce fruit adopte le statut d'aliment fonctionnel. L'effet protecteur des aliments d'origine végétale est attribué aux métabolites secondaires tels que les composés phytochimiques incluant les composés polyphénoliques. Ces polyphénols sont généralement considérés comme bénéfiques et peuvent jouer un rôle protecteur contre les cancers et empêcher la formation et le dépôt de plaques d'athérome dans les artères (**Giovannucci et al., 2010**).

6. Production de la tomate

6.1. Dans le monde

La tomate est aujourd'hui cultivée dans de nombreux pays. En effet, si son optimum de développement culture est de l'ordre de 21°C, elle peut être produite entre 12 et 28°C. Il n'y a pratiquement que les régions polaires de l'hémisphère nord qui échappent à sa culture : on la cultive jusqu'en Finlande en Belgique et aux Pays-Bas, elle est produite de façon intensive sous serres, ou les rendements peuvent dépasser 500t/ha sur onze mois de culture en hors-sol (en culture au plein champ, les tomates destinées à la conserverie produisent jusqu'à 100t/ha). (**Grasselly et al., 2000**).

Les tomates sont produites en vue de la consommation en frais ou transformés. Elles ont connu de nombreux débouchés leur dernière décennie : on en fait des concentrés, des jus, du ketchup, de la pulpe, des tomates concassées, des tomates pelées...

Tableau 1 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100 g de tomate (Cotte, 2000).

Composition de la tomate crue, valeur nutritionnelle pour 100 g.		
Eau		94 g
Valeur calorique		15 Kcal
Fibres		1,2 g
Elément énergétiques	Protides	0,68 g
	Glucides	2,8 g
	Lipides	0,1 g
Vitamines	Vitamine B1	0,06 mg
	Vitamine B2	0,04 mg
	Vitamine B6	0,0081 mg
	Vitamine C	26 mg
	Vitamine E	0,38 mg
Minéraux	Fer	0,4 mg
	Calcium	13 mg
	Magnésium	10 mg
	Phosphore	28 mg
	Potassium	204 mg
	Sodium	5,00 mg
	Fer	0,51
	Soufre	11,00 mg
	Zinc	0,07 mg
	Manganèse	0,1 mg

Les tomates fraîches sont présentes pratiquement toute l'année dans le commerce. Pendant longtemps, le marché Français a préféré les gros fruits de type Marmande. De nos jours, les tomates de grosseur moyenne sont à la faveur du consommateur, comme en témoigne le succès obtenu par les tomates grappes. Les miniatures qui sont les tomates-cerises remportant également un bon succès. (Grassely *et al.*, 2000).

Les nouvelles techniques de production ainsi que la sélection génétique permettent à ce légume d'être cultivé dans des zones géographiques qui étaient exclues il y a quelques années. Mais les progrès réalisés, si importants soient-ils, ont surtout visé à

améliorer sa productivité et son aspect. Le consommateur réclame aujourd'hui un produit qui offre de réelles qualités gustatives tout en étant garant de notre sécurité alimentaire (Grassely et al., 2000).

6.2. En Afrique

Pour le continent africain, plus de la moitié de la tomate est produite en Egypte (soit 5,9 millions de tonnes). En ajoutant les productions marocaines (1 million de tonnes), Algérienne (0,7 millions de tonnes), et Tunisienne (0,6 millions de tonnes), le pourtour méditerranéen apparaît comme la principale zone de production du continent (Grassely., 2000).

6.3. En Algérie

D'après Grassely et al. (2000), La production de la tomate en Algérie est en troisième position de la production Africaine après l'Egypte et le Maroc. Les dernières statistiques montrent une augmentation de la superficie de la production de la tomate industrielle, due à la demande élevée en ce fruit. La production de la tomate a augmenté de 475392 tonnes en 2000 à 852387 Tonnes en 2012 (une augmentation de 38%) (Madr, 2014).

6.3.1. Zones de production de la tomate en Algérie

Les principales régions productrices de la tomate industrielle sont

- o **Zone Est** : représentée par les wilayas d'Annaba, Taraf, Skikda, Jijel et Guelma. Plus de 90 % de la production nationale
- o **Zone Centre** : elle regroupe les wilayas de Boumerdès, Tipaza, Blida, Aïn defla et Chlef.
- o **Zone Ouest** : y compris les wilayas de Relizane, Mostaganem, Sidi-Bel-Abbès et Aïn temouchent.
- o **Zone Sud** : est représentée par la wilaya d'Adrar et Biskra (ITCMI, 2015).

Tableau 2. Premiers pays producteurs de la tomate dans le monde en, 2012 (**FAO, 2014**).

Année 2012	Superficie cultivée (ha)	Production (T)	Rendement (T/ha).	(%)
Chine	1 005 003,00	50 125 055,00	49,87	30,98
Inde	870 000,00	17 500 000,00	20,11	10,82
États-Unis	150 140,00	13 206 950,00 8	7,96	8,16
Turquie	300 000,00	11 350 000,00	37,83	7,02
Égypte	216 395,00	8 625 219,00	39,85	5,33
Iran	160 000,00	6 000 000,00	37,50	3,71
Italie	91 850,00	5 131 977,00	55,87	3,17
Espagne	48 800,00	4 007 000,00	82,11	2,48
Brésil	63 859,00	3 873 985,00	60,66	2,39
Mexique	96 651,00	3 433 567,00	35,52	2,12
Monde	4 803 680,17	161 793 834,18	33,68	100

6.3.2. Contraintes de la production de la Tomate Industrielle en Algérie

En Algérie, les rendements sont faibles, cela est dû à de nombreuses contraintes. Selon **Baci (1993)**, les contraintes sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3. Contraintes de la production de la tomate industrielle en Algérie.

Contraintes techniques	Contraintes économiques	Contraintes organisationnelles
*L'insuffisance des travaux de préparation du sol ; * Le non-respect des dates de repiquage ; *Manque de vulgarisation et d'équipement ; *Manque d'eau pour l'irrigation (mauvaise gestion).	*Un manque des subventions pour cette filière ; les taxes pénalisent le produit fini (le produit algérien le plus cher au monde) ; *Charge de la main d'œuvre est élevée (la culture est entièrement manuelle).	*Mauvaise qualité de la semence *Absence de planning de livraison ; *Problème d'emballages en caisses plastiques.

7. Ravageurs et maladies de la tomate

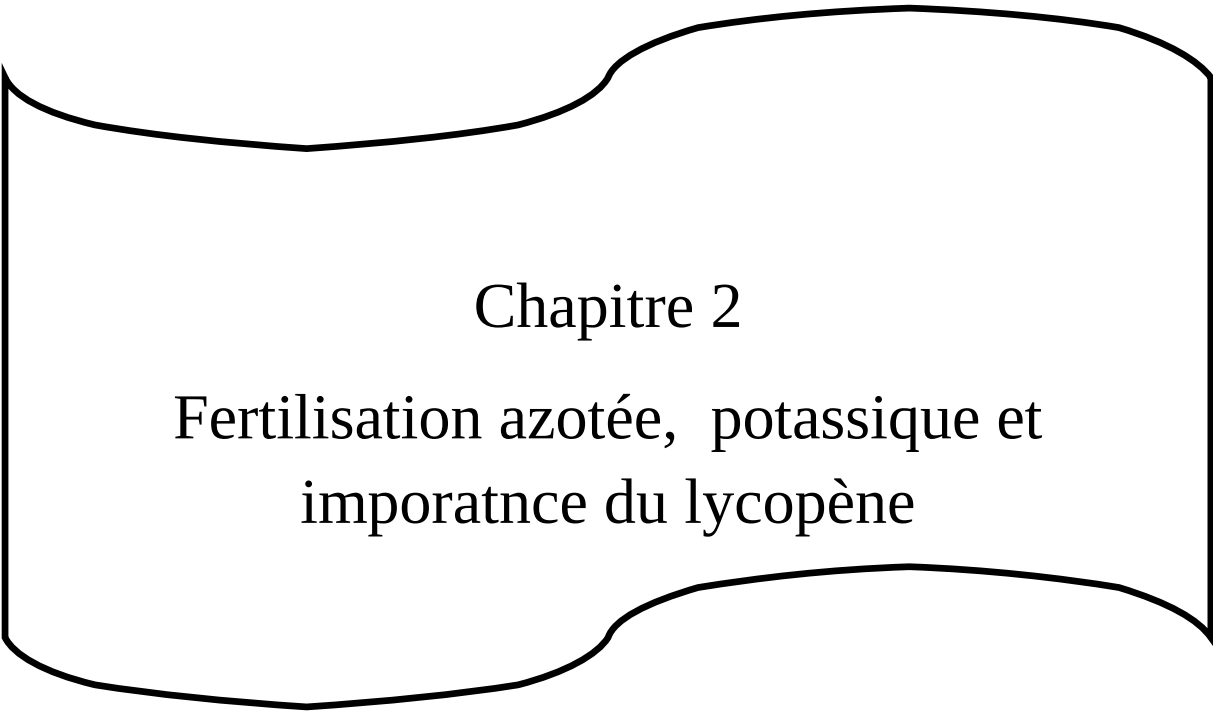
Les principaux ravageurs de la tomates sont résumé dans le tableau 4.

Tableau 4. Principales maladies de tomates (**Blancard, 1997**).

Maladies	Symptômes et dégâts	Moyens de lutte
Altérnariose <i>Alternaria solani</i> ou <i>alternaria tomati</i>	Taches brunes ou noire avec cercles concentriques sur fruits et feuilles	-Produit à base de cuivre -Désinfecter les semences ; éliminer les déchets de récolte ; éviter les excès d'humidité (irrigation localisée, ne pas mouiller le feuillage) ; aérer.
Mildiou <i>Phytophthora infestans</i>	Plages huileuses sur feuilles, livide brunissement de quelques nervures.	Eviter les excès d'azote et d'eau, bonne aération des tunnels, Elimination des plants malades, effeuillage régulier, traitements chimique préventif, alterner les produits pour éviter l'accoutumance.
Pied noir de la tige <i>Didymella lycopersici</i>	Chancre noir bien délimité sur collet, parsemée d'une multitude de points noirs.	Pulvérisation des tiges
Fusariose <i>Fusarium oxysporum</i>	Jaunissement et dessèchement du feuillage Brunissement des vaisseaux	variétés résistantes aux différentes races (DIPLOM, ALEXANDROS, CINDEL, BRENDA, ESTIVA) -désinfection des terreaux par la vapeur.
Verticilliose <i>Verticillum dahliae</i>	Jaunissement et dessèchement du feuillage	-désinfection du sol ; utiliser des variétés résistantes -large alternance des cultures -vapeur fumigeant.

Tableau 5. Principaux ennemis animaux de la tomate (**Ezzahiri et al., 2004**).

Ennemis animaux	Observations	Moyens de lutte
Chenilles (Lépidoptères)	On distingue : une chenille qui ronge les feuilles, coupe les fleurs et troue les fruits : une qui ronge les feuilles et fruits : une qui creuse des galeries dans les fruits en saison sèche.	Pulvérisation insecticides 1 à 2 fois/semaine, notamment à la nouaison.
Mouche blanches (Aleurodes)	Piquant les feuilles et transmet les virus	Pulvérisations insecticides
Puceron	Ils vivent en colonie sur les jeunes rameaux qu'ils piquent pour en sucer la sève. Vecteurs de maladies à virus.	Eliminer les mauvaises herbes et faire des pulvérisations insecticides
Coléoptères	Perforent le limbe des feuilles et sectionnent les plantes	Pulvérisations insecticide
Acariens (Araignées rouges)	Piquant les plantes pour sucer la sève, transmettent des virus.	Pulvérisations copieuses de produits acaricides dès l'apparition des premiers acariens
Nématodes	Les racines portent des petites gales blanches	Désinfection du sol il faut Utiliser des variétés résistantes
Rongeurs	Des ravages dans les basse-cours et les champs de culture	Propreté de la parcelle



Chapitre 2

Fertilisation azotée, potassique et
importance du lycopène

1. Azote

L'azote (N) est le facteur principal de la croissance des plantes et du rendement des cultures (**FAO, 1980**). En effet la plupart des systèmes de cultures non légumineuses exigent l'apport d'azote, particulièrement les variétés à haut rendement. Sa déficience dans le sol devient un obstacle à la production. C'est ainsi que des études ont été conduites en vue d'une utilisation efficace des engrais azotés pour de limiter des pertes en azote sous forme de nitrate et la pollutions des nappes aquifères (**Madgoff et al., 1984 ; Roth and Fox, 1990 ; Angle et al., 1996 ; Randall et al., 1997 ; Sogbedji et al., 2000 ; Fofana et al., 2002**). Mais la gestion efficace de l'azote reste un déficit à relever à cause de la complexité associée à la dynamique de cet élément dans le système sol- plante-atmosphère (**Kladivko et al., 1991 ; Van Es et al., 1991**).

1.1. Importance de l'azote dans la nutrition des plantes

L'azote est l'un des éléments nutritifs utilisés par les plantes (**Bado, 2002**). C'est le quatrième constituant des plantes qui est utilise dans l'élaboration de molécules importantes comme les protéines, les nucléotides, les acides nucléiques et la chlorophylle (**Epstein, 1972**).

L'azote favorise l'utilisation des hydrates de carbone, stimule le développement et l'activité racinaire, favorise ainsi l'exportation des autres éléments minéraux et la croissance des plantes (**Stevenson, 1986**). C'est donc le pivot de la fumure (Gros, 1967) Il est essentiel pour la synthèse des enzymes de la photosynthèse (**Lamaze et al., 1990**).

D'autres rôles lui sont attribués tels que retard de la sénescence et de la maturation ; il contribue souvent aussi à un affaiblissement des résistances mécaniques de la plante (verse des céréales) et leur conférer une plus grande sensibilité à certaines maladies cryptogamiques (**Vilain, 1993**).

Les plantes absorbent l'azote sous forme de nitrates (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+). L'importance relative de chacune de ces formes dépend de l'espèce végétale et des conditions du milieu (**Layzell, 1990 ; Hageman, 1984**).

Une carence du sol en azote se traduit chez les plantes céréalières et particulièrement chez le maïs par le jaunissement, signe principal qui apparaît d'abord

sur des vieilles feuilles en forme de "V" des extrémités des feuilles qui se dessèchent prématurément ; une taille réduite (**Bertrand et Gigou, 2000**).

1.1.1. Action de l'azote sur le rendement des cultures

L'alimentation en azote détermine directement le rendement potentiel. Aussi l'effet de l'azote sur le rendement est spectaculaire. Il est considéré comme le pivot de la fertilisation (**Bertrand et Gigou, 2000**).

En effet l'importance de l'azote pour l'obtention des rendements a été soulignée par plusieurs auteurs.

1.2. Principales sources d'azote

a. Sol

Des expériences réalisées sur le maïs, le riz (**Chabaliér, 1976**), sur le sorgho (**Gigou et Dubernard, 1979**) et sur le mil (Ganry et Guiraud, 1979 ; Ganry, 1990) ont permis d'observer que l'azote du sol est important dans la nutrition azotée des plantes; soit près de deux fois la part des engrais dont le coefficient réel d'utilisation varie de 30 à 45%.

La première source d'azote organique utilisée par les plantes est l'azote du sol. En absence de tout apport d'engrais, les plantes non fixatrices d'azote utilisent l'azote du sol durant leur cycle physiologique. Chaque type d'amendement influe selon sa nature sur la fourniture de l'azote et sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. La qualité des amendements organiques et leur capacité à fournir l'azote sont généralement évaluées par le rapport C/N (**Stevenson, 1984**).

b. Amendements organiques

Les résidus organiques laissés sur le sol après les récoltes constituent une litière temporaire.

Plusieurs études effectuées en Afrique de l'Ouest (**Adjetunji, 1997 ; IFDC, 1990,1992 Saragoni et al., 1992**) ont montré que l'incorporation des résidus de récolte issus de la culture de maïs ont significativement augmenté les rendements.

c. Engrais minéraux

L'azote du sol et des amendements organiques ne suffisent pas pour atteindre des rendements optimums (**Bado, 2002**). Des engrais azotés sont utilisés comme complément d'azote pour augmenter les rendements et intensifier la production végétale.

Cependant leur utilisation est faible à cause de coûts relativement élevés comparativement aux faibles revenus des producteurs. L'engrais enrichit le sol. En effet les sols qui reçoivent régulièrement des engrais permettent d'obtenir des rendements plus élevés et une bonne réponse aux engrais : on parle d'un effet " vieille grasse " (**Morel et al., 1994 ; Boniface et Trocmé, 1988 ; Bosc, 1988 ; Bertrand et Gigou, 2000**) car souvent sur un sol épuisé, même en apportant de fortes doses d'engrais, on n'arrive pas à atteindre un rendement aussi élevé que celui obtenu sur les sols régulièrement fertilisés.

Par ailleurs, bien que l'importance des engrais azotés ait été bien établie, leur utilisation reste très limitée à cause du coût élevé de l'azote, l'inefficacité du système de distribution, les politiques agricoles inadéquates, le faible taux de recouvrement des engrais azotés et d'autres facteurs socio-économiques. Ces dernières années, les chercheurs se sont penchés sur d'autres moyens moins coûteux pour apporter l'azote dans les systèmes de cultures et notamment sur la rotation légumineuses et céréales. Les légumineuses sont reconnues pour augmenter la fertilité du sol à cause de la fixation symbiotique de l'azote (**Bationo et al., 1993 ; Stoop et Staveren, 1981 ; Reddy et al., 1992**).

d. Plantes fixatrices d'azote : importance des légumineuses dans les systèmes de culture

La plus grande partie de l'azote de la biosphère (79%) se trouve dans l'atmosphère (Haynes, 1986 ; Foth, 1990). Mais, seul un nombre réduit de genres bactériens vivant librement ou en symbiose avec les plantes sont capables de réduire l'azote moléculaire de l'atmosphère. Par la symbiose entre les bactéries réductrices de l'azote atmosphérique, une grande partie des légumineuses utilisent principalement l'azote provenant de l'atmosphère. Dans une revue de littérature, **Peoples et al. (1995)**, donnent le potentiel de fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses.

Dans les systèmes de culture utilisant les rotations, l'azote fixé par les légumineuses peut être utilisé d'abord par les légumineuses, puis par les cultures suivantes (**Bado, 2002**).

En effet, les rotations culturales ont des avantages bien connues et ne sont plus à démontrer. Des études réalisées par Bationo au Niger en 1995 sur les effets de l'azote et des systèmes culturaux sur la production du mil (*Pennisetum thyphoides*) a donné des rendements faibles (à travers tous les taux d'azote) que lorsqu'il était en rotation avec le niébé (*Vigna unguiculata*) ou l'arachide (*Arachis hypogea*). D'après les travaux de Bagayoko et al, (1996 et 2000), le niveau de rendement de mil après un précédent niébé est équivalent à celui que produiraient 40 unités fertilisantes d'azote par hectare. Les résultats de recherches réalisés au Nigeria montrent un effet résiduel du niébé, équivalent à 36 kg d'N/ha/an pour la céréale suivante (**Eaglesham et al., 1982**).

1.3. Fonction biologique de l'azote

L'azote est présent dans tous les organismes vivants. Il est le principal composant des acides aminés, qui sont les éléments constitutifs des protéines. Il entre également dans la composition des neurotransmetteurs, de l'ARN et de l'ADN. La chlorophylle, qui permet aux plantes de convertir la lumière du soleil en énergie, contient également de l'azote. Sans cet élément, il serait donc impossible de produire des aliments sur terre.

2. Fertilisation potassique

2.1. Généralité sur le potassium

Le potassium est un élément majeur essentiel à la croissance et au développement des plantes, sa teneur dans les tissus végétaux est élevée et représente 2 à 8 % de la matière sèche (**Heller, 1969**).

Selon **Morel (1996)**, les organes végétatifs de la plante présentent des taux de potassium plus élevés que ceux qui assurent sa pérennité.

Contrairement à d'autres éléments tels que l'azote, le phosphore et le soufre, le potassium n'apparaît pas dans la structure des composés organiques de la plante.

2.2. Fumiers organiques

Le fumier de ferme est très utilisé en agriculture. Les plus courants sont les fumiers de cheval, de vache et de porc. Le fumier de cheval présente une teneur en éléments nutritifs la plus équilibrée. Le fumier de vache contient relativement peu de phosphate. Le fumier de porc est généralement riche en sels minéraux mais contient relativement peu de potassium. Le fumier de chèvre et de mouton constitue un bon fumier organique (**Wageningen, 2005**).

2.3. Fertilisants minéraux

Les fertilisants chimiques (à l'exception du calcium) n'améliorent pas la structure du sol mais enrichissent le sol en éléments nutritifs (**Wageningen, 2005**).

3. Rôles des différents éléments minéraux nécessaires à la plante

3.1. Macroéléments (anion ou cation)

a- Azote (N)

L'azote est un élément majeur indispensable à la croissance des végétaux, il est prélevé dans le sol sous forme soit nitrique (NO_3^-) ou ammoniacal (NO_4^+). Plusieurs rôles lui sont attribués comme le développement de la plante et la croissance végétale (feuilles, tiges et formation des graines) d'où sa contribution à l'amélioration du rendement (**FAO, 2003**).

Coutanceau (1962), note que l'excès d'azote se traduit en général par une forte végétation, le développement des feuilles est large et de couleur foncée. La floraison est faible et la production de fruits de mauvaise qualité les rend sensibles aux parasites. Il résulte que des pucerons sont attirés sur les jeunes pousses bien vertes. En revanche la carence provoque un feuillage vert clair ou jaunâtre (chlorose) ; plante de taille peu développée (**Fertiale, 2011**).

3.2. Macroéléments absorbés sous forme de cation

a- Potassium K^+

Selon **Heller(1969)**, Le potassium est un élément majeur essentiel à la croissance et au développement des plantes. Il est disponible sous forme de cation monovalent K^+ . Dans la pratique agricole, le potassium est habituellement apporté sous forme de potasse (carbonate de potassium K_2CO_3), (**William, 2003**).

La carence en potassium perturbe la synthèse des protéines, les entre-nœuds se raccourcissent considérablement. Cette déficience peut entraîner la diminution de la

dominance apicale et les plantes carencées développent de nombreux rameaux axillaires. En plus, elle provoque l'accumulation des nitrates et surtout de l'ammoniac qui devient toxique, et provoque des nécroses qui débutent au niveau des feuilles âgées (**Binet et Prunet, 1967**).

Khelil (1989), signale qu'il est facile de diagnostiquer l'excès de potassium par une analyse foliaire, ce dernier provoque également une augmentation du calibre des fruits.

b- Le sodium Na^+

Le sodium est chimiquement proche du potassium mais ne peut pas le remplacer. Il pénètre mal dans la cellule qui a tendance à le refouler, il sert d'ion d'accompagnement des anions (dans solutions nutritives), il favorise la croissance de la plante (**Guet et al., 2011**).

c- Le calcium Ca^{++}

Le calcium est apporté sous forme de CaSO_4 ou $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$. Il s'accumule dans les organes âgés, assez peu dans les organes jeunes, il est peu mobile, c'est un constituant de la lamelle moyenne. Il joue un rôle antitoxique vis-à-vis de diverses substances extracellulaire comme l'acide oxalique, acide tartrique, acide citrique. Les symptômes visuels de carence sur les feuilles sont des gaufrages et des déchirements spontanés du limbe. Sur fruit, une mauvaise nutrition calcique est la cause de maladies physiologiques comme la nécrose apicale de la tomate (**Elalaoui, 2007**).

d- Le magnésium Mg^{++}

Le magnésium est absorbé sous forme divalent Mg^{2+} . Dans la plante il exerce plusieurs fonctions importantes. C'est dans la partie porphyrine de la molécule de la chlorophylle qu'il est de loin le plus abondant (**William, 2003**). Selon Audigie et **Baggiolini (2012)**, le magnésium représente 1 % du poids sec des feuilles. Sa répartition est parallèle à celle du potassium mais en quantité plus faible (**Peter et al., 2007**).

Le magnésium est également nécessaire à la stabilisation de la structure du ribosome, de plus il constitue un activateur de nombreuses enzymes importantes. Il est important dans les réactions enzymatiques (**William, 2003**).

3.3. Macroéléments sous forme d'anion

a- Phosphore

Le phosphore est disponible dans la solution du sol sous la forme d'un triacide (acide phosphorique H_3PO_4) (**William, 2003**). Le phosphore assure 3 fonctions au niveau cellulaire :

- Fonction plastique : Il rentre dans la constitution des acides nucléiques du noyau et des phospholipides des membranes en favorisant la multiplication cellulaire (**Binet et Prunet, 1967 ; Heller, 1984 ; Khelil, 1989**).
- Fonction énergétique : Le phosphore confère un haut pouvoir énergétique à certaines molécules par la formation des liaisons riches en énergie (adénosine-triphosphate ou ATP). (**Lafon et al., 1996 ; Soltner, 2003**).
- Fonction métabolique : Il confère à certaines molécules une réactivité qu'elles ne peuvent avoir en son absence, par exemple le transporteur d' H^+ : NADP lors du cycle de KREBS et du cycle de CALVIN (**Matrin Prevel et al., 1984**).

Le phosphore est nécessaire au développement racinaire, et représente l'élément essentiel pour la floraison, la nouaison, la précocité, le grossissement des fruits et la maturation des graines (**Heller, 1977**).

- **Carence en phosphore provoque ;**

- Un débourrement tardif suivi du dessèchement des bourgeons, il provoque également un ralentissement du développement des rameaux et des racines
- Les feuilles deviennent plus petites avec coloration terne, puis vert pâle, prenant ensuite une teinte rouille ou pourpre, avec une chute prématurée.
- Fruits petits, bosselés, très colorés, tendres, peu savoureux et acidulés (**Coutanceau, 1962**).

b- Le soufre

Le soufre existe sous différentes formes, comprenant des sulfures de fer et du soufre alimentaire. Cependant, les plantes l'absorbent sous forme d'anion (SO_4^-) (William, 2003).

Le soufre est un stabilisateur des structures protéiques, il est présent dans les acides aminés soufrés (**Lepoivre, 2003**), comme la cystéine et la méthionine; 70 % du soufre se trouve dans les chloroplastes. Le soufre est présent dans certaines vitamines comme la thiamine et la biotine. En plus, c'est un élément de transfert d'énergie (l'adénosine phospho-sulfate APS) (**Rakotondradona, 2009**).

3.4. Oligoéléments**a- Fer**

Le fer est indispensable à la synthèse de la chlorophylle, c'est le constituant essentiel du système enzymatique d'oxydoréduction (**Peter et al., 2007**). Son absorption à l'état Fe^{2+} ou Fe^{3+} est contrôlée par voie métabolique qui est fortement influencée par d'autres cations compétiteurs ou antagonistes (Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Zn^{2+}) (**Lepoivre, 2003**).

b- Cuivre, Molybdène, Manganèse, Zinc

Cuivre : rentre dans la composition de différents enzymes responsables de certains processus métaboliques dans la plante. Il favorise la synthèse des hydrates de carbone et des protéines et évite une dégradation précoce de la chlorophylle (**Bovey, 1972**). La carence en cuivre provoque une chlorose de la pointe des feuilles. Les jeunes feuilles peuvent se tordre (**Fertiale, 2011**).

Molybdène : est nécessaire pour le métabolisme de l'azote. On le retrouve dans la nitratre réductase et dans les nodosités des légumineuses. La carence en cet élément entraîne une croissance lente (**Fertiale, 2011**).

Manganèse : est un activateur de nombreuses réactions enzymatiques, sa carence se manifeste par des taches noires caractéristique sur les feuilles (**Fertiale, 2011**).

Zinc : est absorbé sous forme de cation bivalent Zn^{2+} . C'est un activateur de nombreuses enzymes. Les plantes carencées en zinc sont caractérisées par des entrenœuds raccourcis et des petites feuilles. Le rôle du Zinc dans le métabolisme auxinique demeure obscur, mais on a observé que sans des plantes carencées en

Zinc, la concentration en auxine diminuait avant l'apparition de symptômes visibles (Marschner, 1986).

c- Bore et Chlore

Bore ; Les plantes ont un très faible besoin en bore; néanmoins, la carence en cet élément est très répandue et se traduit par de nombreux désordres métaboliques notamment, la mort des méristèmes apicaux des tiges et des racines, un allongement de l'interphase entre deux mitoses successives, une perturbation de la synthèse et de la distribution des substances de croissance (Lepoivre, 2003).

Chlore : est nécessaire à la photosynthèse à dose très faible, il favorise le transfert des électrons de l'eau à la chlorophylle (Lepoivre, 2003).

4. Potassium dans le sol

4.1. Forme du potassium dans le sol

Le potassium se trouve sous diverses formes dans le sol:

a- Potassium de la roche mère

Le potassium contenu dans la roche mère représente 90 à 98% du potassium total. Cette forme n'est pas utilisable qu'à long terme, c'est une réserve libérée progressivement après altération des minéraux, sous l'effet des alternances des cycles d'humectations et de dessiccations, notamment sous l'effet de l'activité biologique (Soltner, 1994).

b- Potassium de la solution du sol

Les ions K^+ dissous dans la solution du sol proviennent de l'altération des minéraux, de la minéralisation de la matière organique et de la dissolution des engrais (Soltner, 2003) Cependant, le lessivage et plus particulièrement la fixation du potassium par les minéraux argileux, fait qu'il reste rarement en solution (Robert in Bourbia, 1996).

c- Potassium échangeable

Le potassium échangeable représente généralement de 1 à 10% du potassium total du sol (Morel, 1996). Il constitue la fraction réellement disponible pour les plantes, il comprend le potassium de la solution du sol et le potassium adsorbé sur les surfaces

extérieures des minéraux argileux. Ainsi des échanges incessants et rapides s'établissent entre ces deux formes (**Mhiri, 2002**).

d- Potassium fixé

Le potassium fixé est le potassium rétrogradé ou non échangeable, qui correspond au potassium de réserves, fixé entre les feuilles des argiles sous forme de cations K^+ .

Le potassium non échangeable constitue une réserve lentement utilisable, les ions K^+ peuvent passer des surfaces externes aux surfaces internes des feuilles d'argiles de type montmorillonite ou illite. Dans le cas d'une argile de type illite, les ions libres deviennent difficilement échangeable (**Bertrand, 2000**).

e- Potassium dans la matière organique

Soltner (1994), signale que le potassium extrait par les plantes et présent dans leurs tissus, devient partiellement disponible pour les cultures suivantes. Il retourne au sol de deux manières :

-A la fin du cycle de la culture : la restitution du potassium se fait, soit par les racines qui restent dans le sol, soit par les feuilles lavées lors des pluies.

-Après la décomposition des résidus végétaux, le potassium reste dans le sol.

4.2. Dynamique du potassium dans le sol

La dynamique du potassium dans le sol est régie par un ensemble des processus qui conditionnent son passage d'un compartiment à un autre (Figure10), (dissolution, échange, fixation, libération), lors de son transfert d'un horizon à un autre (**Mhiri, 2002**).

D'après **Gauthier (1991)**, une diminution de la forme assimilable du potassium entraîne une certaine libération à plus au moins long terme et ce, selon le type d'argile, ainsi que les altérations de dessiccation.

4.3. Transferts du potassium dans le sol

Les transferts du potassium dans le sol sont illustrés par la (Figure 11), où il apparaît que la phase liquide est le milieu de transit de tous les éléments.

4.4. Rôle de potassium dans la plante

-Le potassium intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules et régularise les échanges intracellulaires, on peut citer les principaux rôles :

-Il réduit la transpiration des plantes (augmente la résistance à la sécheresse).

-Il active la photosynthèse et favorise la formation des glucides dans les feuilles.

-Il participe à la formation des protéines, et favorise leur migration vers les organes de réserve (tubercules et fruits).

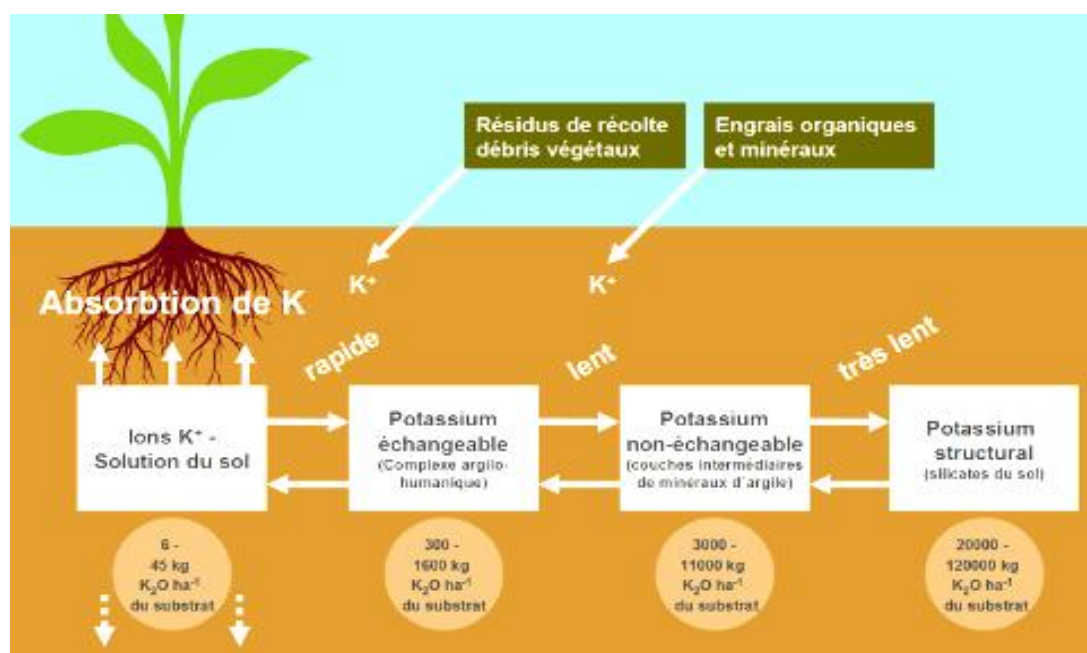


Figure 8 : Dynamique de potassium dans le sol (Mhiri, 2002).

- il contribue à renforcer les parois cellulaires, et offre aux plantes une meilleure résistance à la verse et à contre l'agression de diverses maladies (Unifa, 2005).

-Il pourrait, selon certains auteurs, faciliter l'accumulation d'amidon dans le fruit. (Grasselly et al., 2000).

- Sur le rendement : Selon Zehler et Forster (1972), les applications abondantes du potassium permettent une exploitation améliorée du potentiel de rendement de la tomate.

5. Pertes en potassium

5.1. Pertes par lessivage

Les pertes par lessivage du potassium sont généralement assez faibles bien que variables selon le type de sol puisqu'on estime que les pertes en générale sont de 0 à 70 kg/ha/an (**Chaux et Foury, 1994**).

Le potassium est moins lessivé lorsque les constituants argileux qu'ils le rétrogradent sont abondants. Ainsi les pertes annuelles par drainage pour un hectare de couche arable sont :

-0 à 10 kg en sol argileux.

-0 à 20 kg en sol limoneux.

-20 à 30 kg en sol sableux (**Contignies, 1996**).

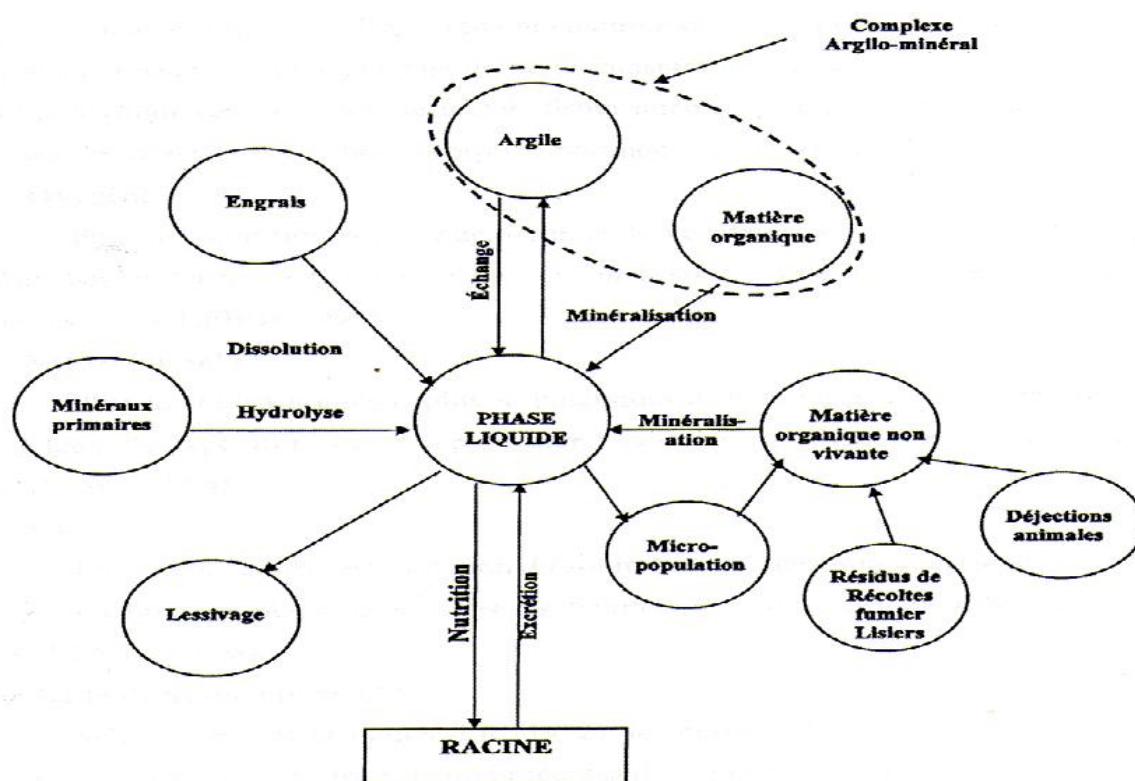


Figure 9 : Transfert du potassium dans le sol (Morel, 1996).

5.2. Pertes par érosion

Les pertes par érosion concernent les sols en pente (**Morel, 1996**).

6. Interaction entre les éléments minéraux

Il est inutile d'augmenter la dose d'un élément donné si la croissance est limitée par l'insuffisance ou l'excès d'un autre élément. L'interaction peut être positive ou négative:

6.1. Synergie

Il s'agit d'un effet d'un ion A qui est amplifié par la présence de l'ion B. Le chlore et les nitrates facilitent la pénétration du potassium et du calcium. L'absorption des ions phosphoriques est meilleure en présence de Mg^{2+} (**Soltner, 2003**).

6.2. Antagonisme

Selon **Grasselly et al. (2000)**, l'antagonisme se produit lorsque la teneur en un élément est excessive. Elle aura donc pour effet de limiter l'absorption des autres éléments.

L'antagonisme existe entre le calcium et le potassium ; Phosphore et Mg ; Fer et Mn ; Mg et Ca. Cet antagonisme peut être dû à une compétition au niveau d'un transporteur, c'est le cas de K^+ / Rb^+ , Cl^- / Br^- .

Quelque soit leur origine, la synergie et l'antagonisme nécessitent un certain équilibre entre les différents composants des solutions nutritives (**Soltner, 2003**).

a- Interaction Potassium-Magnésium

Entre le potassium et le magnésium, on peut avoir un antagonisme, lorsque l'un des deux est apporté en excès par rapport à l'autre (**Laumonier, 1979**).

b- Interaction Potassium –Calcium

Selon **Predescu (1976)**, certains éléments exercent un effet antagoniste sur d'autres éléments en empêchant leur absorption par les racines et leur assimilation par la plante. Des fortes concentrations en calcium ont un effet déterminant sur l'assimilation du potassium. **Bertschinger et al., (2003)**. Indiquent que des excès en potassium peuvent entraîner une mauvaise absorption du calcium, surtout après nouaison.

c- Interaction Potassium- Manganèse, Bore

Gauthier (2001), signale que l'excès de potasse provoque le blocage du manganèse et du bore.

6.2.1. Mécanismes d'antagonisme

a- Antagonisme par concurrence ionique

Lorsque la concentration de la solution du sol en potassium est élevée, cela induit une augmentation d'absorption de cet élément par la racine au détriment du magnésium et du calcium. De même, un excès de disponibilité en potassium accentue les phénomènes chlorotiques en sols sensibles en limitant la disponibilité du fer et du manganèse (<http://www.agrimaroc.net/bul165.htm>).

b- Appauvrissement du complexe par déplacement d'ions

Les ions K^+ en excès prennent la place des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sur le complexe argilo-humique. Ces derniers sont alors exposés au lessivage : c'est l'action décalcifiante et anti-magnésienne des engrais potassiques ; Il faut de plus noter le phénomène d'absorption sélective des ions par les racines : les végétaux semblent préférer les ions K^+ aux ions Ca^{2+} (<http://www.agrimaroc.net/bul165.htm>).

6.3. Potassium et Lycopène

Une déficience en potassium peut réduire la concentration en lycopène, mais une application de potassium supérieure à 800kg/ha perturbe l'uniformité de la couleur du fruit (**Grolier, 2000 in SHE et al. 2002**).

Selon **Taber et al. (2006)**, ayant travaillé sur la tomate, qu'il n'y a aucun effet de la date de la récolte sur la concentration du lycopène du fruit, par contre il y'a une interaction significative du taux de potassium et du type de variété sur son accumulation. Les résultats de **Taber et al. (2008)**, indiquent que la fertilisation potassique peut affecter la biosynthèse des caroténoïdes. La réponse de la tomate à un taux élevé en potassium est variable selon le génotype.

7. Potassium et santé humaine

Le potassium maintient le degré d'hydratation des tissus et exerce une influence importante sur l'équilibre osmotique des liquides

Il favorise l'élimination des toxines et rend les cellules sensibles à différent stimulus chimiques et physiques

Le potassium est utilisé pour maintenir la balance électrolyte dans le corps et peut aider à empêcher la déminéralisation des os par l'empêchement de la perte du calcium par les urines et peut baisser l'hypertension (**Grasselly et al., 2000**).

8. Lycopène

8.1. Historique

Le lycopène a été isolé pour la première fois par Hartsen en 1873 à partir des fraises de l'espèce *Tamus communis L.* comme un pigment rouge cristallin. En 1875, Millardet a obtenu une mixture brute de lycopène à partir de la tomate, et c'est en 1913 que Duggar lui donna son nom observant que cette molécule avait un spectre d'absorption différent du carotène des carottes (**Nguyen et al., 2001**). En effet les grands fabricants de produits à base de tomate ont orchestré une vaste campagne de sensibilisation visant à faire connaître les propriétés du lycopène (**Food et Drug, 2005**).

8.2. Définition

Agarwal et Rao (1998), notent que le lycopène se trouve principalement dans la peau et le péricarpe de la tomate. C'est un pigment appartenant à la classe des terpènes caroténoïdiens (**Bunker et al., 2007**), et à la famille de pigments végétaux connus comme les caroténoïdes. Les caroténoïdes produisent des couleurs allant de la couleur jaune de squash, à la couleur orange des citrouilles, et rouge des tomates. Les caroténoïdes contribuent également à la fabrication de certains arômes alimentaires de la plante (**Bustamante et Sanchez, 2007**).

Sa structure chimique particulière lui permet d'absorber toutes les longueurs d'onde de la lumière, excepté le rouge, qui lui confère sa couleur rouge intense caractéristique. Le lycopène n'est pas synthétisé chez l'homme et les animaux, il doit donc être apporté dans l'alimentation (**Kim et al., 2011**).

8.3. Structure et propriétés du lycopène

8.3.1. Structure du lycopène

Le lycopène est une molécule de formule $C_{40}H_{56}$, non saturé à chaîne ouverte qui exerce son action en cédant ses électrons afin de neutraliser les radicaux libres avant même qu'ils n'atteignent leurs cibles, (Figure 12). Son PM=536,88 et sa température d'ébullition est de 175°C.

C'est un pigment appartenant à la classe des terpènes caroténoïdes, caractérisé par une structure acyclique symétrique contenant onze doubles liaisons conjuguées et deux non conjuguées qui confèrent à la molécule sa couleur rouge et le rendant le plus long caroténoïde (Stahl et al., 2000).

8.3.2. Propriétés du lycopène:

La couleur rouge du lycopène est due à ses nombreuses doubles liaisons covalentes carbone – carbone. Chaque double liaison réduit l'énergie nécessaire à un électron pour passer à un niveau supérieur, ce qui permet à la molécule d'absorber la plupart du spectre lumineux ainsi seul le rouge reste visible.

- Le lycopène soumis à une réaction d'oxydation se casse au niveau des doubles liaisons carbone pour donner des molécules plus petites (Agarwal et Rao, 1998).
- Le lycopène est liposoluble.
- La cuisson augmente les quantités de lycopène bio disponible, la chaleur le libère dans les cellules ainsi il y a 4 fois plus de lycopène dans la sauce tomate que dans la tomate fraîche. Cette biodisponibilité est encore augmentée par la présence des lipides. Par ailleurs, des études indiquent également que les dérivés de tomate qui contiennent le plus de lycopène biodisponible sont : jus, soupe, sauce tomate ou Ketchup.

8.4. Sources alimentaires du lycopène

Les sources de lycopène sont diverses (tableau 06) la plus connue étant la tomate, en fonction des cultivars et des conditions de culture sa concentration peut varier de 2,1 mg/100g MF à 7,3 mg/100g. Les procédés industriels pour la préparation des produits transformés à base de tomate augmentent la concentration en lycopène de ces préparations comparativement au fruit de tomate. Mais le lycopène est aussi présent

dans la papaye et la pastèque dans des concentrations similaires à la tomate fraîche. Malgré un écart important entre les différentes études, la meilleure source de lycopène provient d'un fruit vietnamien appelé le "gac", elle a été évaluée entre 26,8 et 305,4 mg/100g MF (Reynaud, 2009).

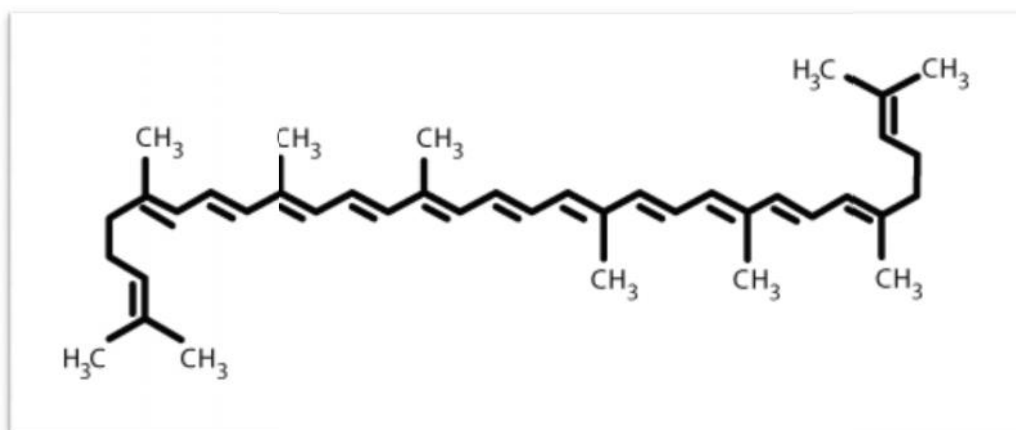


Figure 10. Structure moléculaire du lycopène (Stahl et al., 2000).

Tableau 6. Concentrations en lycopène des différents fruits (Reynaud, 2009).

Fruit	Concentration en lycopène (mg/100g) MF
Tomate fraîche	2,1-7,3
Tomate transformée	3,0-55,5
Papaye	1,7-3,1
pastèque	7,6
Gac	26,8-305,4

8.5. Différentes action du lycopène

8.5.1. Action anti-athérogène du Lycopène

Agarwal et Rao (2000), rappellent que les lipides sont particulièrement sensibles aux agressions des radicaux libres. C'est le phénomène de "lipoperoxydation". Les lipoprotéines qui circulent dans le sang n'y échappent pas et deviennent alors

particulièrement athérogènes, les cellules deviennent incapables d'évacuer le cholestérol par les voies normales, ce qui favorise l'accumulation incontrôlée de cholestérol dans la paroi des artères (athérosclérose).

Parmi les antioxydants qui circulent dans le sang, les caroténoïdes sont particulièrement importants pour protéger les LDL (Low density lipoproteins) contre l'oxydation. Diverses études épidémiologiques ont par ailleurs montré qu'une concentration élevée de Lycopène dans le sang est associée à un plus faible risque d'accident cardiaque (**Agarwal et al., 2000**).

8.5.2. Action anti-cancérigène du lycopène

Une étude sur six ans, menée par le Professeur Edward **Giovanucci (1999)**, réalisée à partir de 72 travaux de recherches a examiné les régimes alimentaires de plus de 48000 hommes. Des 46 fruits et légumes évalués, seuls les produits à base de tomate ont démontré une relation mesurable pour diminuer le risque de cancer de la prostate, du pancréas, du poumon et du colorectal. Avec une consommation accrue de produits à base de tomate, les niveaux sanguins de lycopène ont augmenté et le risque de cancer de la prostate a diminué, cette étude a apporté la preuve que le lycopène réduit de 21 à 34% le risque d'avoir un cancer de cette nature chez les hommes consommant au moins 10 fois par semaine des plats contenant de la tomate. Aussi la transformation de tomate et les produits à base de tomate par la cuisson a permis d'accroître la biodisponibilité du lycopène et diminuait le risque de cancer de l'appareil digestif (**Friedman, 2002**).

8.5.3. Action du lycopène sur le système immunitaire et le matériel génétique

Les rapports scientifiques sont unanimes que les caroténoïdes ne sont pas seulement essentiels à la nutrition humaine, mais ils augmentent les défenses immunitaires de l'organisme, empêchant la mutagenèse et réduisant les dommages infligés au matériel génétique (**Bilton ,1999**).

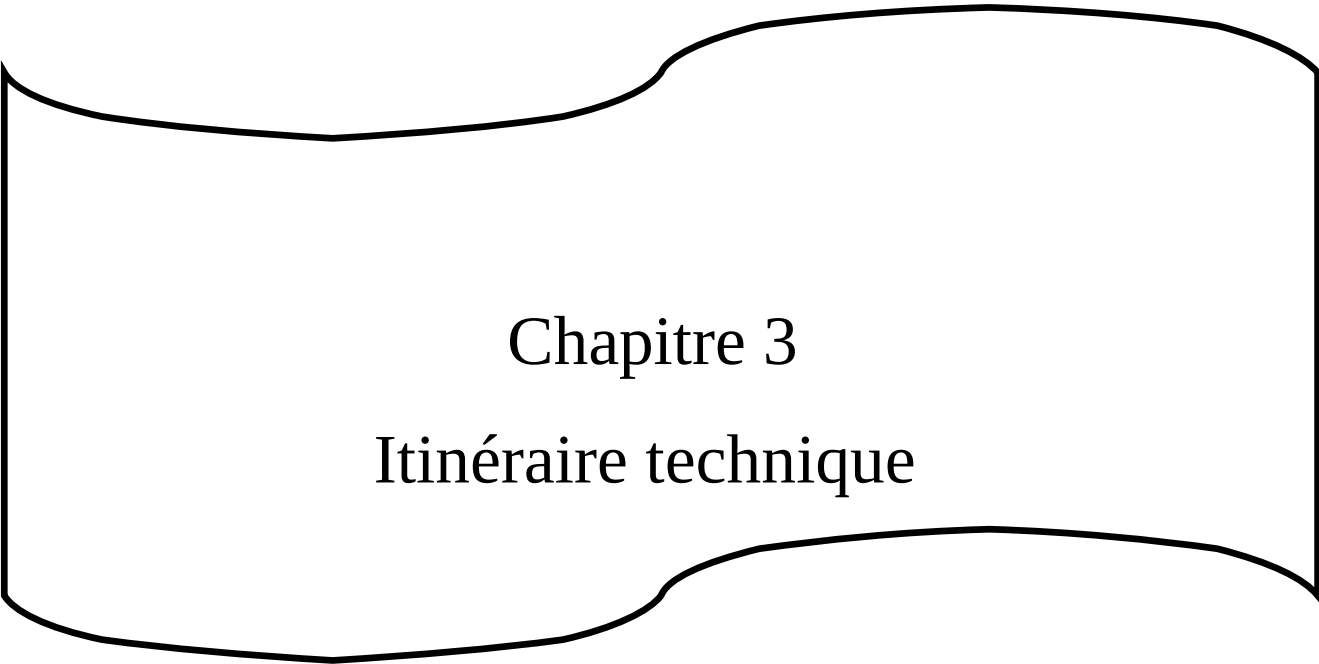
Riso et ses collaborateurs de l'université de Milan en Italie, sont arrivés à la conclusion que la consommation de dérivés de tomate pourrait diminuer les dommages causés à l'ADN Lymphocytaire dus à son oxydation (**Rehman et al., 1999**).

8.5.4. Action du lycopène dans les autres tissus

Des études menées aux États-Unis sur des patients atteints d'une pathologie dégénérative de la rétine des yeux ont montré l'effet protecteur préventif du lycopène vis-à-vis de ces pathologies **(Kavanaugh, 2007)**.

Une étude en cours en Inde, réalisée par le Dr MOHANTY, démontre une relation entre le lycopène et une augmentation de la fertilité masculine. Les résultats préliminaires de cette étude indiquent une augmentation générale de la fertilité masculine. Sur 50 patients, 18 couples (36%) signalent un test de grossesse positif à neuf mois, une augmentation de 70% de la concentration des spermatozoïdes, 60% de la concentration fonctionnelle des spermatozoïdes, 46% de la motilité des spermatozoïdes **(Kavanaugh, 2007)**.

Toutefois, la complémentation avec des comprimés contenant le principe actif de fruits et légumes frais a été fortement déconseillée par des chercheurs du Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) et les membres de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) qui ont formulé une mise en garde contre l'utilisation de ces compléments alimentaires dans le cadre de la prévention contre le cancer. Ils déconseillent notamment la promotion des comprimés de caroténoïdes. La consommation de fruits et légumes frais reste, la première ligne de défense contre la maladie **(OMS, 1998)**.



Chapitre 3

Itinéraire technique

1. Place de la tomate dans la rotation

Pour éviter l'extension des maladies et des parasites, ainsi que l'épuisement du sol, la tomate ne doit revenir sur elle-même que tous les quatre ans et il faut éviter les précédentes solanacées.

Elle vient en tête d'assolement dans les sols recevant normalement du fumier ; mais dans les terres pauvres en humus, elle est cultivée après une luzerne ou une légumineuse.

2. Préparation du sol

La tomate présente un système racinaire profond, il faut profondément ameubli à l'avance pour éviter qu'il ne soit creux (Figure 11) au moment de la plantation (**Naika et al., 2005**).



Figure 11 : Préparation du sol (Originel, Mars, 2015).

2.1. Travail du sol

Dans tous les cas, un travail du sol en profondeur est généralement réalisé à l'aide d'outils à dents (Chiseul) ou à disques en printemps (charrue à disque). Il a pour but de travailler le sol sur une profondeur pouvant atteindre 40 à 50 cm. Il est ensuite parachevé par un travail superficiel sur les 10 à 20 cm de profondeur (généralement au cover crop), dans le but d'ameublir le sol (**El Fadl et Chtaina, 2010**).

2.2. Fumure de fond

Pour répondre aux besoins de la tomate en éléments minéraux, il faut estimer les besoins de la plante et établir le niveau de fertilité du sol par des analyses au laboratoire, ces dernières permettent de tenir compte des quantités d'éléments laissés par les précédents culturaux (**Grissa, 2010**).

3. Production des plants

3.1. Semence

Il est toujours préférable d'utiliser des semences ayant été soigneusement sélectionnées. La désinfection des semences est nécessaire pour assurer une bonne faculté germinative (**Laumonnier, 1979**). Le semis s'effectue généralement sur une couche tiède dans le courant de la deuxième quinzaine du mois de Mars. La date de semis et fonction des caractéristiques du climat et du but fixé par le producteur.

Lors du semis, les semences sont recouvertes de 1,5cm en moyenne de sable. la température de l'atmosphère souhaitable est de 18 à 20C°, celle du sol doit être de 25 C° (**Laumonnier, 1979**).

Le choix de la semence est une étape importante puisqu'elle détermine en grande partie la réussite de la production de plants. Le producteur se doit de savoir un bon nombre d'aspects qui concernent la qualité de la semence (**El Fadl et Chtaina, 2010**).

- Génétique : il y a lieu de savoir si la semence choisie est une variété population, fixée, lignée pure, ou hybride F1.
- Résistance aux maladies et ravageurs : ce sont des critères à connaître pour évaluer les risques potentiels de problèmes biotiques.
- La vigueur de la plante garantie une bonne production.
- Qualité gustative : connaître la teneur en matières sèches, présence d'arome, saveur, texture du fruit, teneur en sucres, acidité et des vitamines.

3.2. Pépinière

Selon **Naika et al (2005)**, le semis en pépinière se fait soit à la volée ou en ligne sur un lit de semis ou dans des caissettes à semis. Les graines sont légèrement recouvertes avec du terreau.

D'après **Chaux et Foury (1994)**, les plants sont transplantés lorsque les plants ont de 3 à 5mm de diamètre et une hauteur de 12 à 15 cm correspondant au stade 3 à 5 feuilles.

- Sous serre, la période de semis de la tomate débute de mi-juillet pour les variétés précoces et s'étale jusqu'à fin septembre pour les variétés tardives.
- Les semis sont faits sur plateaux alvéolés. Les besoins par hectare sont de 70 à 80 g des semences avec 40 à 50 sacs de 80 litres de tourbe (**Naika et al 1994**). Pour assurer une bonne germination.



Figure 12 : Pépinière sous tunnel plastique (Originel, Avril, 2015).

3.3. Choix des plants

La sélection ou le choix des plantules se fait en fonction de leur taux de croissance et de leur état sanitaire avant leur transplantation (**Naika et al, 2005**).

4. Plantation

La transplantation est réalisée selon les conditions du milieu (Figure15), il convient de bien connaître le climat de la région et la nature du sol (**Laumonnier, 1979**).

4.1. Période de plantation

En général la transplantation est effectuée, en période sèche de façon à éviter les maladies Cryptogamiques. Ceci impose une irrigation pendant la végétation de la tomate. La meilleure saison est les mois d'avril à mai.

4.2. Densité de plantation

La densité de plantation est variable selon les régions de culture et des variétés utilisées.

On adopte généralement des distances variant de 30 à 50 cm entre chaque pied sur le billon.

Les compacités moyennes varient de :

- 20.000 pieds/ha pour un écartement de 1m entre les billons et 50 cm sur les billons.
- 37.500 pieds/ha pour un écartement de 80 cm entre les billons et 33 cm sur les billons.



Figure 13 : Plantation de la tomate (Originel, Mai, 2015).

4.3. Technique de plantation

Il existe deux types de plantations : manuelle et mécanique.

- La plantation manuelle : s'effectue à l'aide d'un plantoir, le plant est mis en terre de 6 à 10 cm de profondeur.
- La plantation mécanique : se fait à l'aide d'une repiqueuse qui assure une bonne homogénéité traduisant ainsi un faible taux de manquants.

5. Conduite de la culture

5.1. Fertilisation

5.1.1. Fumure organique

Selon **Alaoui, (2005)**, La tomate nécessite un sol bien pourvu en humus, vu son rôle dans la détermination du rendement, de la grosseur et de la qualité des fruits. Les apports de fumier améliorent l'efficacité d'utilisation de la fumure minérale. Des apports d'environ 60T/ha permettent une amélioration de rendement d'environ 13 T/ha.

5.1.2. Fumure minérale

Nous avons la fumure de redressement, nécessaire en sols pauvres. Il est généralement préconisé de faire des apports en phosphore sur les sols pauvres. On recommande une dose d'environ 100 à 200 unités en sols légers et 200 à 300 unités en sol à texture fine et lourde.

Pour la fumure d'entretien, elle doit être raisonnée en fonction du précédent cultural, des apports en fumier, et des rendements visés.

La rotation des cultures, d'engrais verts, d'engrais organiques et de composts aident à maintenir une bonne structure du sol et un bon équilibre en éléments nutritifs.

5.2. Irrigation

La tomate est assez sensible à l'excès et au déficit hydrique, ce dernier peut anéantir la production, de même un excès en eau peut provoquer une asphyxie racinaire. Les irrigations doivent être pratiquées en début de la végétation, puis les apports augmentent à la floraison, nouaison, et au grossissement du fruit. En effet un stress hydrique au stade floraison provoque une couleur des fleurs et une mauvaise nouaison (**Chibane, 1999**).

5.3. Soins culturaux

Les soins culturaux apportés à la culture sont le remplacement des manquants, le désherbage, binages et buttage avant le stade de la pleine floraison.

- **Remplacement des manquants** : s'effectue 8 à 10 jours après plantation afin de maintenir la densité de plantation fixée.
- **Binage** : Cette opération est effectuée après la reprise des plants, afin d'assurer l'aération et de réduire le tassement du sol.
- **Buttage** : Cette opération est effectuée en plusieurs passages avant le début de la floraison, afin de favoriser l'émission de la nouvelle racine.

- **Désherbage chimique** : L'utilisation des désherbants chimiques donne de bons résultats du point de vue technique.

6. Récolte des fruits

Les professionnels estiment qu'un fruit est mur lorsqu'il présente un peu de rose sur toute sa surface et que la face exposée au soleil vire au rouge (Figure 14).

L'état de maturité des tomates pour la récolte est à prévoir en fonction de la destination des fruits et de la longueur des transports qu'ils auraient à subir (Laumonnier, 1979).



Figure 14 : Récolte des fruits de tomates (Original, Août, 2015).

7. Destination de la tomate

7.1. Caractéristiques de la tomate destinée à la transformation

La tomate a une double destination : la consommation à l'état frais ou à la transformation du concentré de tomate et dérivés, pour ce dernier les tomates doivent être saines, fraîches et présentent une couleur rouge avec d'autres caractéristiques à savoir :

7.1.1 Qualité visuelle

Récolte : la tomate doit être de couleur rouge à maturité complète

Calibre : un grand calibre de fruit est intéressant pour utiliser moins de main d'œuvre au moment de la récolte et le triage sera le plus efficace au niveau de l'usine.

7.1.2 Qualité interne

-La fermeté du fruit est essentielle pour la résistance aux chocs pendant le transport et le stockage (**Espiard, 2002**).

- Une acidité suffisante ; donne une bonne qualité gustative. Selon **Miladi (1970)**, la teneur en acide citrique dans le fruit ne doit pas être inférieure à 0,35%.

- Le pH du produit transformé : doit être inférieur à 4,5 de façon à limiter le temps de stérilisation nécessaire pour préserver la qualité du produit.

- La vitamine C : elle est très importante du point de vue nutritif (20 mg/100g de jus de tomate).

- Le rapport taux de sucre/ indices réfractométrique : doit être supérieure à 50% et le rapport sucre/indice doit être inférieure à 80% (**Montigaud, 1983 in Kessi et Larbi Cherif, 2008**).

-L'arome : doit être fort car une grande partie se perd par évaporation lors de la concentration du produit.

-Le taux de nitrates et des sulfates doit être faible pour ne pas entraîner la corrosion des boîtes.

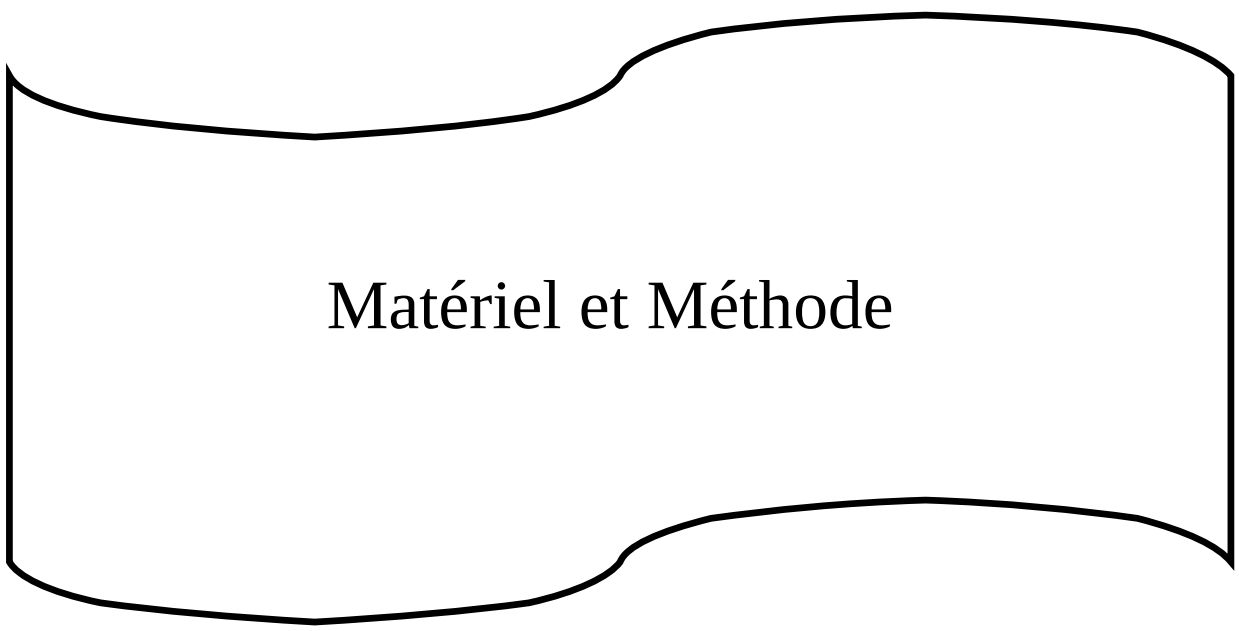
7.2. Processus de transformation de la tomate industrielle

Selon **Guthmann et Guilmain (1991)**, les différents processus de transformation chez la tomate sont :

- **Réception et inspection de la matière première** : les tomates fraîches doivent être réceptionnées dans des bacs propres et solides (caisses). Ils doivent être protégés du soleil, de la pluie et des souillures. A la réception, un triage préalable s'effectue pour éliminer les fruits jaunes ou présentant des zones vertes.
- **Lavage** : l'opération de lavage se pratique en deux phases : un prélavage, suivi de lavage proprement dit. Le rôle du prélavage est d'éliminer les

souillures et les matières étrangères en assurant un brassage des fruits afin de faciliter la séparation mécanique de ces souillures.

- **Triage** : c'est une opération qui se fait manuellement sur un tapis roulant. On trie les fruits fermes bien mûre et de couleur unie.
- **Broyage et préchauffage** : ce sont deux opérations qui se font simultanément. Les tomates propres sont introduites dans un broyeur qui le réduit en purée à une température de 50°C à 70°C pendant quelques secondes/
- **Raffinage** : Cette opération permet l'obtention de jus de tomate. Son principe repose sur la séparation de la peau et les graines et le raffinage de jus ainsi obtenu sera acheminé vers une cuve de stockage temporaire comportant un indicateur de niveau.
- **Concentration** : La concentration de la tomate se fait par évaporation, elle consiste à éliminer l'eau du jus au moyen de la chaleur afin d'obtenir un degré brix donné. Le contrôle de la température est nécessaire à ce niveau pour éviter la caramélisation ou l'obtention d'un produit brûlé. Contrôler de produit qui sera mentionné plus tard sur l'étiquette.
- **Emboitage- Sertissage** : La purée de tomate est versé avant d'être mise en boîte dans une réchauffeuse, doseuse à piston manœuvré à la main ou mécaniquement. Les sertisseuses sont automatiques et leur vitesse est réglée sur l'emboiteuse.
- **Stérilisation** : Elle est utilisée pour éliminer tous les germes ayant résisté au préchauffage, elle est réalisé dans une autoclave fermé pendant 30 mn.
- **Refroidissement** : Il convient de faire suivre le traitement thermique, par un refroidissement rapide des récipients de 34°C à 1°C. L'eau de refroidissement ne doit pas être agressive. Cette option permet d'éviter une sur cuisson.
- **Séchage – encartonnage** : Après refroidissement, les boîtes seront séchées par ventilation puis encartonnées et enfin stockées à l'abri du soleil et de l'humidité. Les boîtes sont ensuite mises en observation pendant 15 jours avant leur commercialisation pour voir si elles ne bombent pas par les bactéries anaérobies.



Matériel et Méthode

Notre essai est réalisé en plein champ, a la station expérimentale de l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI) des Issers dans la wilaya de Boumerdès

1. But de l'essai

Notre essai porte sur l'effet de l'interaction de trois doses de fertilisation $N \times K$ sur les paramètres agronomiques et technologiques chez une variété de tomate industrielle : Riogrande.

2. Conditions expérimentales

2.1. Situation géographique

La station d'essai est située sur la route de Chaabet-El-Ameur, Draa El Mizan (Tizi-ouzou) à la sortie d'un réseau urbain des Issers ville. La superficie totale de la station est de 26.70ha dont 24.80ha représentent la surface agricole utile (SAU) et les bâtiments occupent une surface de 1.9ha.



Figure 15 : Carte géographique et limites administratives de la région des Issers ville

(Google Maps, 2014).

2.2. Données climatiques

Le climat est l'un des facteurs déterminant le développement des végétaux ainsi que l'augmentation des rendements.

2.2.1. Température

La région des Issers est caractérisée par un climat à hiver doux et été sec et chaud. Le tableau 7 montre que durant cette campagne agricole 2014/2015, les températures maximales sont enregistrées durant le mois de Juillet et Aout, qui sont respectivement de 28.42°C et 28.82°C quant aux températures minimales, elles sont enregistrées pour les mois de avril et mai et qui sont respectivement 16.91°C et 20.16°C.

Tableau 7 : Températures mensuelles au cours de la campagne agricole 2014 /2015.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Max(c°)	30.60	26.82	23.32	17.02	15.13	14.39	17.97	21.5	25.03	29.03	35.97	34.77	22.47
Min(c°)	19.47	19.89	17.12	11.23	6.32	8.16	8.74	12.33	15.29	18.47	20.97	22.87	15.43
Moy(c°)	25.35	23.35	20.22	14.12	10.72	11.27	13.35	16.91	20.16	23.75	28.42	28.82	18.95

(Source : ITCMI des Issers, compagnes agricoles, 2014/2015)

2.2.3. Pluviométrie

L'eau est un élément indispensable à toute vie végétale. Elle assure le transport des éléments nutritifs et représente la plus grande proportion (80%) du poids frais des végétaux. Son importance est primordiale dans les phénomènes de croissance, du développement et de la mise à fruit des plantes.

Tableau 8 : Pluviométrie mensuelle au cours de la campagne agricole 2014/2015.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P (mm)	14	55.4	43.2	276.8	121	163.6	128	2	19	0	1	1	816
Jours	6	6	4	15	10	16	1	3	2	0	1	1	55

(Source : ITCMI des Issers, compagnes agricoles, 2014/2015)

Au cours du cycle de la plante, la répartition de la pluie est irrégulière. On a noté que le mois le plus pluvieux (tableau8) au niveau de notre essai est le mois de Février avec une quantité de 163.6 mm. Durant le cycle de la culture (du mois d'Avril jusqu'au début du mois de Aout), nous avons enregistré une somme de précipitations de 23 mm, le manque d'eau au cours du cycle de la plante est remarquable.

Le diagramme Ombrothermique de **Bagnouls et Gausson (1953)**, permet de déterminer la période sèche et la période humide à partir des données mensuelles pluviométriques et thermiques.

Bagnouls et Gaussen (1953), définissent la saison sèche comme étant une période où les précipitations (P) en millimètre sont inférieures ou égales au double des températures moyennes (T) exprimées, en degré Celsius ; selon la convention d'échelle : $(P \leq 2T)$.

Le diagramme Ombrothermique de **Bagnouls et Gaussen** (figure 16) montre que durant la campagne agricole 2014/2015, le climat de la région est caractérisé par deux périodes :

- ✓ Période humides : Qui s'étale de la mi-janvier jusqu'au la fin de mars.
- ✓ Périodes sèche : Qui est la plus importante s'étale de la fin mars jusqu'à la fin de septembre, pendant le courant de notre culture (juin, juillet, aout).

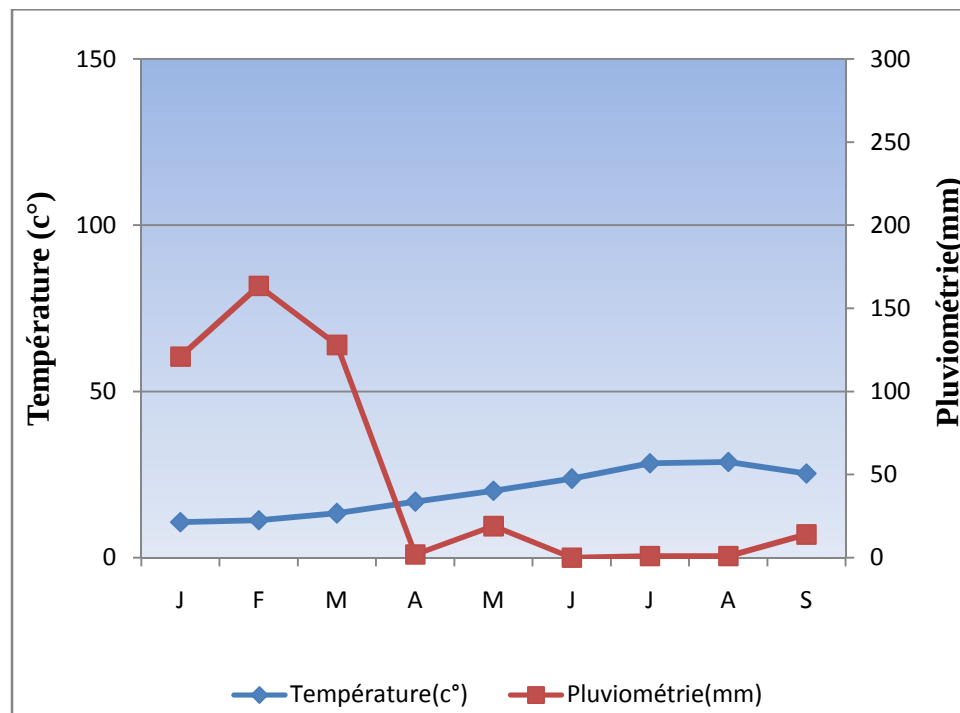


Figure 16 : Diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gaussen** de la campagne agricole 2014/2015 au cours du cycle de la plante.

3. Matériels et méthodes

3.1. Matériels utilisés

3.1.1. Matériel végétale

Au cours de notre essai, la variété **Riogrande** est menée en plein champ dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Caractéristiques de la variété Riogrande.

➤ Caractéristiques	➤ Riogrande
• Origine • Nature génétique • Type de croissance • Précocité • Récolte • Productivité • Destination • Forme de fruit • Nature de la peau • Port • Poids moyen • PH de jus de fruit • Brix	• France • Fixée • Déterminée • Tardive (180 jours) • Echelonnée • 400 à 500 Qx/ha • Double fin • Légèrement allongée • Lisse • Dressée • 80 à 100 gramme • 4.4 • 5.5 à 7.5

Source : (ITCMI, 2015).



Figure 17: Fruits de la variété Riogrande. (Originel, 2015)

3.1.2. Fumure minéral

3.1.2.1. Fumure azotée

Au cours de notre essai, l'apport d'azote est sous forme d'urée à 46% d'N qui est fractionné en deux apports. Le premier apport est effectué le 28 mai 2015 correspondant au stade jeune plant (quinze jour après plantation) et le deuxième est réalisé le 15 juin 2015, au stade floraison (un mois après la plantation).

- D1=239.13Kg/ha soit 3.826Kg /parcelle élémentaire.
- D2 : 478.26 Kg/ ha soit 7.652Kg /parcelle élémentaire.
- D3 :956.52Kg/ha soit15.304 Kg/parcelle élémentaire.

selon de nombreux auteurs comme **Dumas, 1997 ; Pinto et al., (1997)**. Les besoins en Azote chez la tomate varient de 100 à 180kg/ha de N

Nous avons choisi trois doses 110 ; 220 et 440 U d'N/ha. Chaque dose est apportée en deux fractions : l'une au stade plantule et l'autre au stade floraison (tableau10).

Tableau 10 : Fractionnement des quantités fertilisantes (N) aux cours de l'essai.

Type de fumure	Quantité de fertilisant U/ha	Fractionnement des quantités d'engrais apportées	Stade de végétation
Fumure minérale de couverture (N)		Kg/ha	
D1	110 U/ha	119.56	Stade jeune plant
		119.56	Stade de floraison
D2	220 U/ha	239.13	Stade jeune plant
		239.13	Stade de floraison
D3	440U/ha	478.26	Stade jeune plant
		478.26	Stade de floraison

3.1.2.2. Fumure potassique

Au cours de notre essai, le potassium est apporté sous forme de sulfate de potassium

(K₂SO₄) à 50 % de K₂O correspondant au stade floraison à la date du 25 juin 2015. A cet effet nous avons trois doses :

K₁ : la dose témoin, sans apport extérieur (0 U de K₂O).

K₂ : la deuxième dose, 125Ude K₂O correspondant à 200kg de K₂SO₄ /ha.

K₃ : la troisième dose, 250U de K₂O correspondant à 600kg de K₂SO₄/ha.

3.1.2.3. Fumure phosphatée

Pour le phosphore, aucun apport n'est réalisé, étant donné la richesse du sol en cet élément.

3.2. Méthodes d'étude

3.2.1. Nature de sol

L'analyse physico-chimique du sol est réalisée par Ghezraoui et Nedjar, (2011) au niveau du Laboratoire des sciences des sols de l'école nationale supérieure agronomique (ENASA) d'Elharrach (Alger) et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Résultat de l'analyse physico-chimique du sol.

Caractéristiques physico-chimiques	Résultats	Observations
Argile (%)	57	Sol argilo-limoneux
Limon F (%)	20	
Limon G (%)	8.02	
Sable F (%)	3.89	
Sable G (%)	9,53	
Matière organique (%)	1,32	0,5-1,5% sol moyennement pauvre
Azote N (%)	0,0058	0.5-0.1sol très pauvre
Ca Co ₃ actif	15.56	15-30 Sol calcaires
P(Ppm)	53.85	30<P<56 sol riche
K ⁺ (meq)	1,32	0.5<k<1 sol riche
K ⁺ /Na ⁺	0.0058	K ⁺ /Na ⁺ (100g) :0,17>0.026meq/100g sol en Equilibre
PH	7.8 à 8	pH >7,7 sol alcalin
CE (conductivité électrique)	0.64	0.5à1 très élevée

CEC (meq /100g)	26,1	CEC> 25 très élevée
-----------------	------	---------------------

(Source : laboratoire d'analyse du sol, ENASSA d'Alger, 2011).

Les résultats de l'analyse physico-chimique du sol (tableau 11) montrent que le sol de notre parcelle expérimentale est de type argilo- limoneux à pH alcalin.

D'un point de vue nutritionnel, le sol est très pauvre en azote, moyennement pauvre en matière organique, riche en potassium, en phosphore et bien pourvu en calcaire.

3.2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental auquel nous avons opté est en bloc aléatoire complet (BAC) à deux facteurs (doses de fertilisation minérale et bloc). (Figure 20).

Nous avons à cet effet trois doses : (K1xD1), (K2x D2), (K3xD3)

* Les caractéristiques du dispositif expérimental sont résumées comme suit :

- Longueur de l'essai : 10m
- Largeur de l'essai : 15m
- Surface de l'essai : 150 m².
- Nombre de blocs : 5.
- Distances entre les blocs : 0,8 m.
- Largeur de bloc : 0.5 m.
- Nombre de parcelles élémentaires : 15.
- Distance entre parcelles élémentaires : 0,8 m.
- Distance entre plants : 0,4 m.
- Nombre de plants par ligne : 4
- Nombre de ligne de parcelle élémentaire : 5
- Nombre de plants par parcelle élémentaire : 20 plants
- Nombre de plants par bloc : 60 plants.
- Nombre de plant général de laissée : 300 plants
- Densité de plantation : 25000 plants/ha.

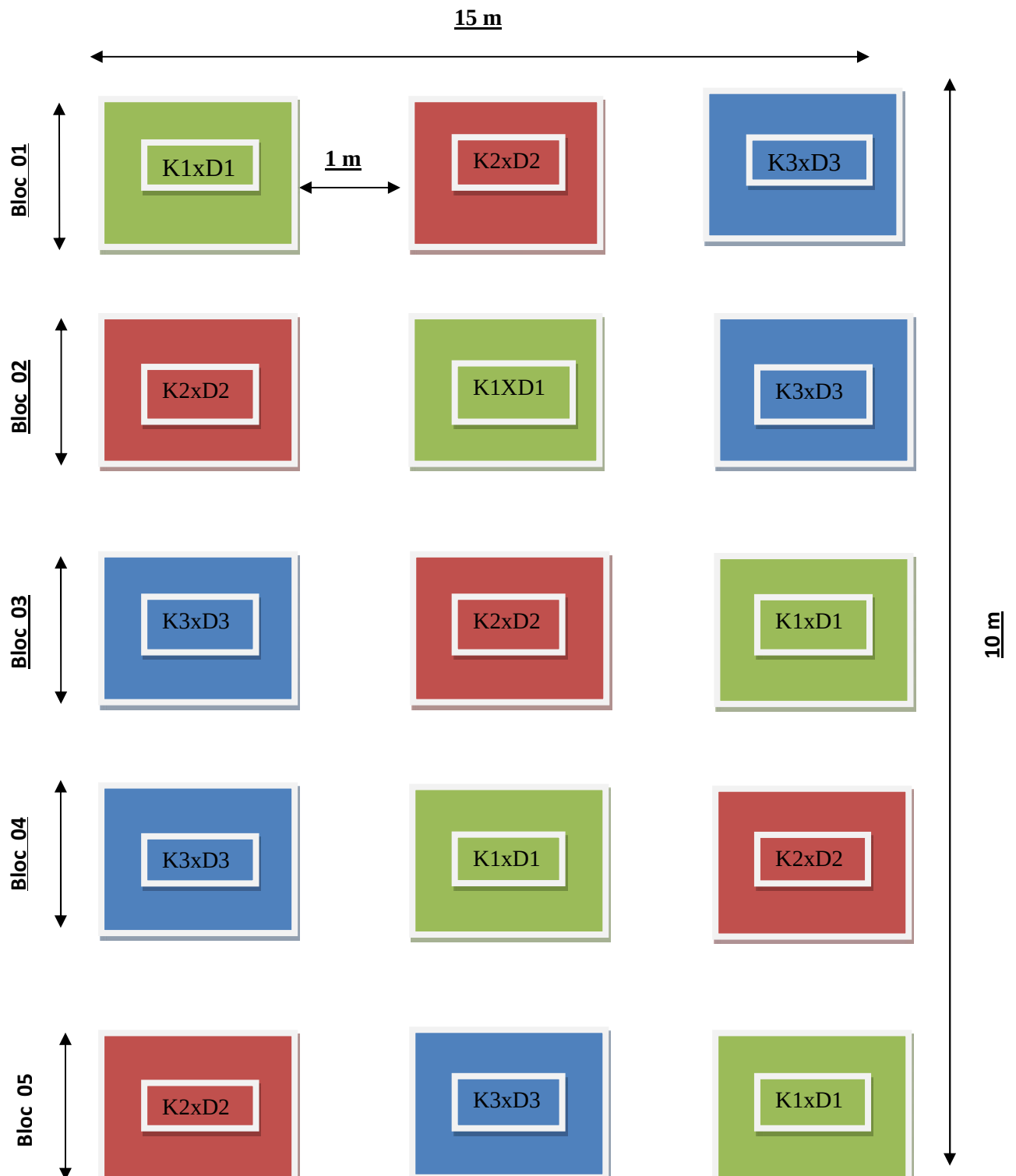


Figure 18: Dispositif expérimental de l'essai.

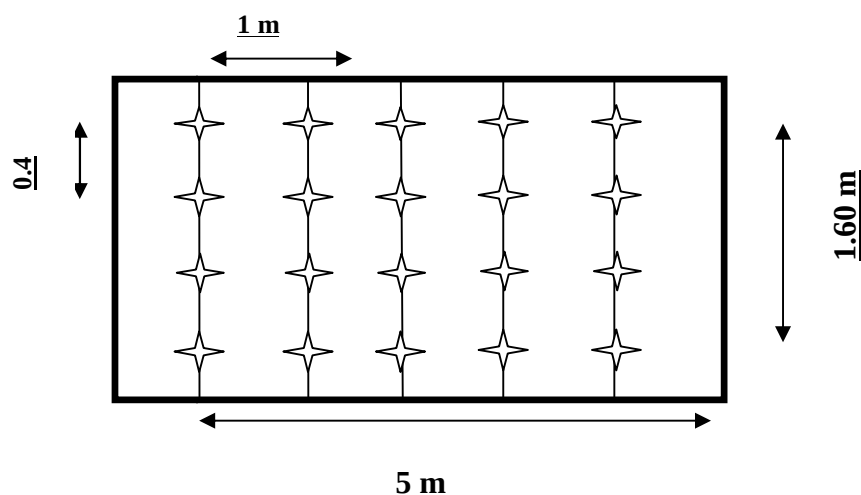


Figure 19 : Présentation schématique d'une unité d'essai expérimentale.



Figure 20 : Vue générale de la parcelle expérimentale (Originel, ITCMI des Issers, 2015)

3.3. Conduite de la culture

3.3.1. Production de plants en pépinière

L'élevage des plants en pépinière est réalisé (figure 21) sur un terrain légèrement incliné à 10% avec une orientation Sud est afin que les plants profitent au maximum de la chaleur hivernale.

La pépinière est préparée au début du mois de Mars, le substrat de culture est composé de 1 /3 de terre fine et 2/3 de fumier de bovin avec 7 a10 cm d'épaisseur.

Le semis de la variété Riogrande est effectué le 07 Avril 2015, avec une densité de semis de 100 à 150 graines par sillon de 1m de long.

L'enlèvement du film plastique et l'arrêt des arrosages sont réalisés 10 jours avant la plantation des plants pour permettre a ces dernière une bonne acclimatation.



Figure 21 : Semis en pépinière de la tomate (Originel, Avril, 2015)

3.3.2. Plantations

Avant la mise en place de notre culture, la parcelle étant une jachère. La plantation est réalisée le 14 mai 2015 avec des plants ayant une hauteur de 20 à 25 cm et de 5 à 7 mm de diamètre. La conduite de la plante est résumée dans le tableau 12 :

Tableau 12: Conduite de la tomate en plein champ.

Opération	Moyens	Périodes	But
1-Travaux du sol -Déchaumage -Labour 20-30 cm -dis-cage croisé -reprise de labour	Déchaumeuse Charrue à socs Charrue à disque	Mars	-Aération du sol et augmentation de la capacité de rétention en eau du sol. -détruire les mauvaises herbes -Enfouissement de la fumure. -Emiettement du sol.
2-la pépinière -préparation des couches. -Semis. -Arrosage. -Eclaircissage. -Désherbage	Manuel Manuel Manuel	Fin Mars2015 07/04/2015 09/04/2015	-Préparer le lit de semis. -Obtention des plants sains et vigoureux.
3-En plein champ -Transplantation		14/05/2015	-Ameublir et aérer le sol au pied des plants
-1 ^{er} apport azote en	Manuel	28/05/2015	
-2 ^{eme} apport azote en	Manuel	15/06/2015	
-Binage et	Manuel	14/06/2015	-Echelonnée
- Apport potassium en	Manuel	25/06 /2015	
-Irrigation	Goutte à goutte		
-2 ^{eme} binage et	Manuel	20/07/2015	
-désherbage	Manuel	18/08/2015 03/09/2015 10/09/2015	-Echelonnée
-Récolte			

(Source : ITCMI, 2015).

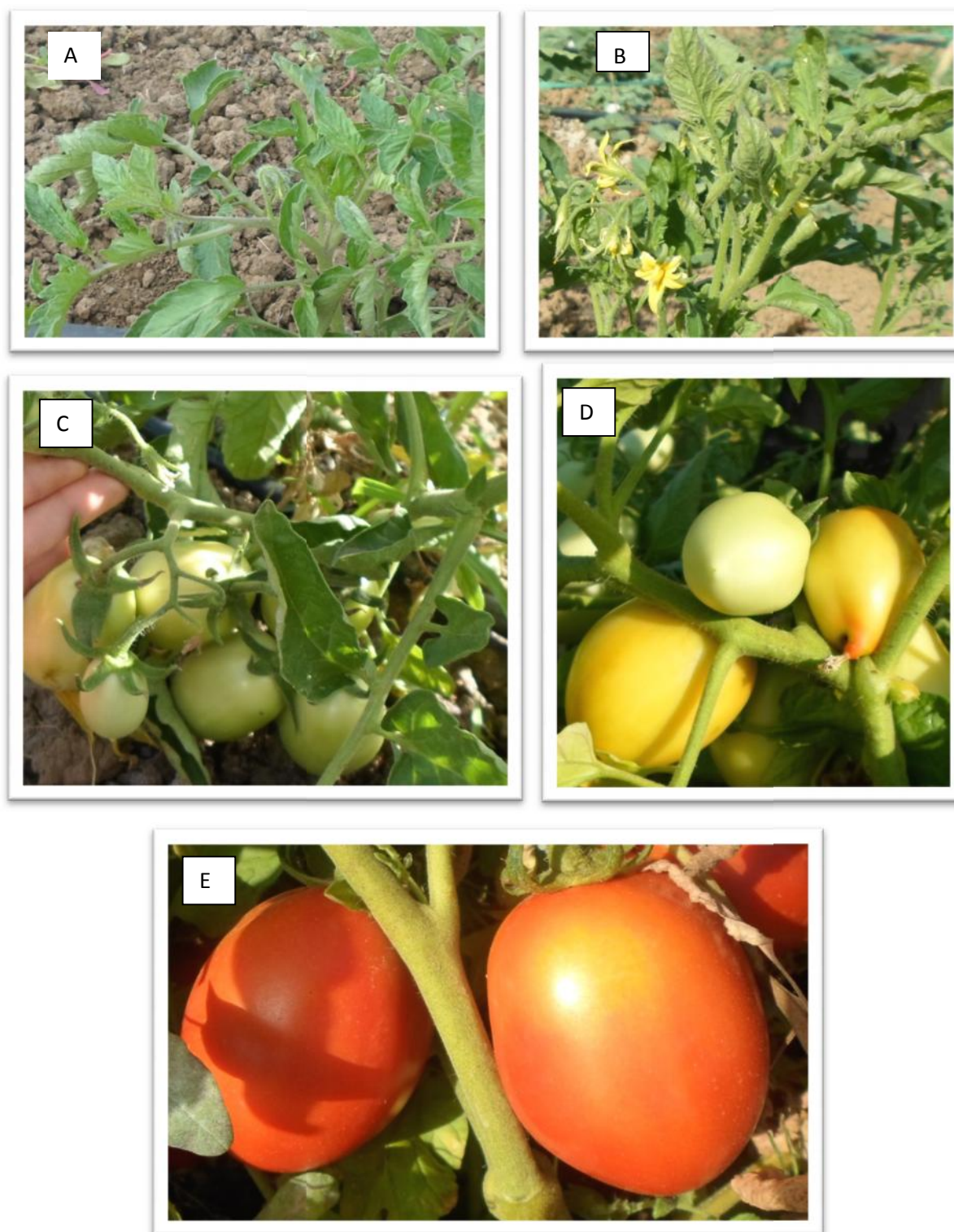


Figure 22 : Plantes de tomate a différents stades de développements (Original, 2015)

A : stade de croissance ; **B** : stade de floraison ; **C** : stade de fructification

D : stade début maturation des fruits ; **E** : Fruits mûrs.

4. Maladies et traitements phytosanitaires

Au cours de l'essai, nous avons rencontré divers maladies et pour lesquelles nous avons effectué différents traitements phytosanitaires comme l'indique le (tableau 13).

Tableau 13 : Traitements phytosanitaires réalisés.

Dates de Traitements	Produits utilisés	Nature de traitement	Agent causal de La maladie	Doses préconisée
11/06/2015	Vapcomie	Insecticide	Mineuse des feuilles Mouche blanche	70ml/hl
21/07/2015	Oberon	Insecticide et acaricide	Mouche blanche + Acariens	60ml/hl
23/07/2015	Judauca	Insecticide	Les noctuelles	250ml/h
28/07/2015	Judauca	Insecticide	Les noctuelles	250ml/h

(Source : I.T.C.M des Isser, 2015).

Le tableau 14.15, illustre les principaux symptômes causés par les insectes sur les plants de tomate et les différentes mauvaises herbes rencontrées ainsi les accidents physiologiques.

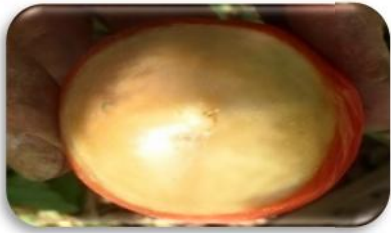
Tableau 14 : Principales insectes et mauvaises herbes rencontrées au cours de l'essai.

Observation	Symptômes
	Mouches blanches : Elle présente une longueur de 1 à 2mm. Tout comme les larves elles se nourrissent de la sève des feuilles. elles déposent leurs œufs sur la face inférieure de feuilles. Les œufs éclosent après environ une semaine et se métamorphosent.
	Œufs de punaise : installer sur le côté inférieur de la feuille de tomates

	Présence d'insecte gendarme :(<i>Pyrrhocoris apterus</i>). Son corps, mesure 1cm de longueur, ovale et aplati sur sa partie supérieure est facilement reconnaissable à ses dessins rouges et noirs placés sur les élytres évoquant la forme d'un masque africain. Le gendarme est polyphagique, il se nourrit de plantes, particulièrement de <u>Malvacées</u> et de tilleuls, mais aussi d'œufs d'insectes, de pucerons et de cochenilles. Le gendarme est un auxiliaire qui joue un rôle important dans la décomposition des végétaux et dans la lutte contre les parasites, il faut donc le préserver.
	Pourpier (Portulacaolercea). Le Pourpier est une mauvaise herbe esthétiquement attrayante avec des feuilles charnues et souvent des fleurs jaunes. Elle est considérée comme mauvaise herbe, bien qu'elle soit comestible.
	Cuscute (Cuscuta compitris). est une plante parasite qui a la particularité de se nourrir de nombreuses plantes communes. Pour ce faire, elle entoure sa victime, la perfore, et la vide de ses nutriments.
	La luzerne. mauvaise herbe qui entre en concurrence de nutriments avec les plantes de tomates.
	Cucurbitacée sauvage. est une mauvaise herbe qui entre en concurrence de nutriment avec les plantes de tomate.

(Source : Blancard (2015).)

Tableau 15: Pertes en fruits lors de la récolte

Observation	Défauts sur les fruits
	Fruits mal formés
	Coup de soleil : les brûlures solaires (<i>sunscald</i> , <i>sun burn</i>) se traduisent par des taches qui apparaissent parfois sur la face la plus exposée au rayonnement direct du soleil, ceci durant des périodes climatiques très chaudes. Ces lésions sont irrégulières, blanchâtres en leur centre, et plus ou moins entourées d'un halo jaune. Elles sont légèrement déprimées, et leur surface est plus ou moins ridée et prend une texture sèche rappelant celle du papier.
	Nécrose apicale : se manifeste par des plages de nécrose à la base des fruits du côté opposé au calice vite envahie par des champignons saprophytes. Elles sont dues à un taux de calcium insuffisant qui peut être induite par un arrosage irrégulier.
	Pourriture : des champignons saprophytes appartiennent à la flore de nombreuses espèces végétales, notamment à celle de la tomate. Ils sont très présents dans l'environnement des cultures et s'installent de plus en plus facilement sur les fruits au fur et à mesure que ceux-ci mûrissent. Leurs dégâts sont rapportés dans de nombreux pays répartis sur tous les continents. Ils affectent surtout les fruits cultivés en plein champ.
	Papillons de nuit (noctuelles) : Les organes aériens de la tomate sont susceptibles d'être dévorés par des chenilles de plusieurs Lépidoptères plus ou moins polyphages. Ces insectes appartiennent à diverses familles, en particulier aux Noctuidés . On retrouve ces noctuelles (<i>loopers</i>), et bien d'autres, dans de nombreuses zones de production du monde où ils occasionnent des dégâts parfois considérables dans les cultures de plein champ, comme sous abri.



Fentes de croissance des fruits : Fentes, éclatements, survenant préférentiellement dans la zone pédonculaire et parfois stylaire des fruits .Ces fentes peuvent être longitudinales, radiales et même concentriques .Plus elles surviennent précocement, plus elles sont dommageables.

Elles affectent surtout les cultures du sol et de plein champ. Certaines productions sous abri en sol ou hors sol, récoltées à des stades de maturité avancés, sont également affectées. Flux d'eau trop important dans la plante et les fruits ; l'élasticité de l'épiderme de ces derniers n'est alors pas suffisante pour compenser leur brusque croissance. Ils finissent par se fendre et s'éclater. Cette affection se manifeste particulièrement à la suite de brusques changements climatiques modifiant considérablement le taux de croissance des plantes, en particulier à la suite de périodes climatiques très chaudes avec des intensités de lumière importantes.



Les larves de *T. absoluta* creuses des mines et des galeries sur les organes aériens de la tomate. Les feuilles présentent des mines, des taches blanchâtres irrégulières devenant progressivement brunes et nécrotiques. Seuls les tissus du mésophylle sont affectés, l'épiderme reste intact. Les feuilles fortement parasitées peuvent se nécroser entièrement. Les fruits verts, comme les fruits mûrs, sont parasités ; ils sont plus ou moins parsemés de galeries et de trous de sortie. Ces derniers permettent parfois à des envahisseurs secondaires de provoquer diverses pourritures, ceci en cours de cultures et durant leur conservation. Notons que les fruits parasités sont non commercialisés.

(Source : **Blancard (2015).**)

La tomate de plein champ nécessitent beaucoup d'eau. Un cultivar moyen requiert environ 40 cm d'eau au cours de la saison de croissance, ses besoins en humidité augmente progressivement jusqu'à ce que la charge fructière atteigne son maximum. Les étapes cruciales en ce qui concerne les besoins en eau sont la floraison, la fructification et le grossissement du fruit. Lorsque les tomates subissent un stress hydrique, le nombre de fleurs par grappe et le nombre de fruits produits diminuent (rendement plus faible), Les fruits sont moins gros (rendement peu élevé), de sorte que les tomates sont parfois invendables sur le marché de frais et que les pertes chez la tomate de transformation récoltée mécaniquement augmentent (Lebœuf, 2013).



Figure 23: Maturation précoce des fruits de tomate au stade noisette (Originel, 2015).



Figure 24 : Perte en fruits a maturité après la récolte (Originel, 2015).

5. Paramètre étudiés

Après plantation, au cours du cycle de la culture on a procédé à l'étiquetage de 4 plants faisant objet des mesures biométrique, En tout 60 plants sont pris au hasard correspondant a quatre plants par parcelle élémentaire, soit 12 plants par bloc.

De la plantation jusqu'à la récolte, on a effectué des observations sur la hauteur et le diamètre de la tige principale, ainsi que le nombre de tiges par plant au stade de maturation des fruits.

Sur les plants mesurés les fruits récoltés sont analysés au niveau du laboratoire commun de la faculté des Sciences Agronomiques et Biologiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Quelques appareils de laboratoire sont utilisés lors de nos analyses sur fruit (figure 37).

5.1. Paramètres agronomiques

5.1.1. Diamètre final de la tige principale cm

Durant l'essai, le diamètre de la tige principale est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse. Ce dernier nous renseigne sur la vigueur de la plante.

5.1.2. Hauteur de tige principal cm

Hauteur de la tige principale : mesuré du collet au sommet de la plante, avec un mètre ruban.
Exprimé en cm

5.1.3. Nombre de tige par plant

Ce paramètre est mesuré par comptage de l'ensemble des ramifications du plant. Ce Paramètre exprime le potentiel de rendement puisque les inflorescences qui se transforment en fruits sont portées par les tiges.

5.1.4. Nombre total de bouquets floraux par plant

Le nombre total de bouquets par plant est la somme de tous les bouquets de toutes les tiges de la plante.

5.1.5. Nombre de bouquets floraux par tige

Le nombre total de bouquet par tige est obtenu par le rapport du nombre total de bouquet par plant sur le nombre de tige par plant.

5.1.6. Nombre de fleurs par plant

Le nombre total des fleurs par plant est obtenu par comptage de toutes les fleurs sur les plants mesurés.

5.1.7. Nombre de fleurs par bouquet

Le nombre de fleurs par bouquet est obtenu par le nombre total de fleur par plant sur le nombre de bouquet par plant.

5.1.8. Nombre total de fruits par plants

Le nombre total de fruits par plant est obtenu par comptage des fruits sur les plants mesurés.

5.1.9. Nombre de fleurs avortées

Les fleurs avortées sont des fleurs qui n'ont pas noué ou qui tombent après nouaison, il est obtenu par comptage des fleurs avortées sur chaque plant.

5.1.10. Taux de nouaison (%)

Le taux de nouaison est le rapport du nombre total de fruits formés sur le nombre total de fleurs, exprimé en pourcentage. Il nous renseigne sur l'aptitude d'une variété à résister aux divers facteurs en particulier climatiques, qui entravent la nouaison.

5.1.11. Calibre moyen d'un fruit (cm)

Le calibre moyen d'un fruit nous renseigne sur le poids des fruits et de leur teneur en matière sèche, il est important pour l'industrie de conserve. Nous le mesurons au moyen d'un pied à coulisse.

5.1.12. Poids moyen d'un fruit (g)

Le poids moyen d'un fruit est le rapport du poids total des fruits sur le nombre total des fruits par plant.

5.1.13. Poids total des fruits par plant (g)

A la fin de chaque récolte, les fruits de chaque plant sont pesés.

5.1.14. Rendement potentiel (Q_x/ha)

Le rendement potentiel est calculé selon la formule suivante :

R_p = nombre moyen des fruits par plant * poids moyen d'un fruit par plant * la densité de plantation

5.1.15. Rendement réel (Q_x/ha)

Le rendement réel par parcelle est calculé par la formule suivante :

$R_{réel}$ = poids des fruits récoltés de chaque parcelle par plant / superficie cultivée

5.2. Paramètres technologiques

Les paramètres technologiques nous renseignent sur la qualité des fruits et leur aptitude à la transformation et à la conservation. Les analyses ont été réalisées sur le jus de tomate, au niveau de laboratoire commun de la faculté des Sciences agrobiologie de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

5.2.1. Détermination de la teneur en eau de fruit

La teneur en eau est déterminée en mettant 1 g d'échantillon dans l'étuve réglée à 103 °C durant 3 heures.

Mode opératoire

- Les coupelles vides sont séchées à l'étuve pendant 15 mn à une température de 105°C.
- Tarer les coupelles après refroidissement dans un dessiccateur.
- Peser dans chaque coupelle 1 g d'échantillons et les placer dans l'étuve réglée à 105°C.
- Retirer les coupelles de l'étuve, les placer dans le dessiccateur et après refroidissement on les pèse.

La teneur en eaux par rapport à la masse humide est calculée par la formule suivante :

$$W (\%) = (m_i - m_f) \times 100$$

Où :

W_{mh} : masse, en gramme, poids frais humide.

m_i : masse, en gramme, initiale.

m_f : masse, en gramme, finale (après dessiccation).

5.2.2. Détermination de la teneur en matière sèche du fruit (%)

La matière sèche totale du fruit est l'ensemble de toutes les substances qui dans des conditions physiques déterminées, ne se volatilisent pas. Ces conditions doivent être fixées de telle manière que, les substances composant cet extrait subissent le minimum d'altération.

Matière sèche = 100 - le pourcentage de la teneur en eau

5.2.3. Indice réfractométrique (Brix)

L'indice réfractométrique ou degré Brix détermine le taux de matières sèches solubles dans le jus. Cet indice est mesuré à l'aide d'un réfractomètre, les résultats sont exprimés en degré Brix où 1° Brix est égale à 1% de matière sèche soluble.

Mode opératoire :

Etalonner le réfractomètre avec de l'eau distillée (remettre à 0), on prend une goutte de l'échantillon (jus de tomate), on la pose sur le prisme du réfractomètre, puis on rabat le deuxième prisme sur le premier, ce qui permet d'obtenir une couche uniforme du liquide.

Nous dirigeons ensuite le réfractomètre vers une source lumineuse, on verra sur l'échelle deux zones, l'une sombre et l'autre claire. La limite entre les deux zones indique la valeur de réfraction de la lumière qui correspond à l'extrait sec.

5.2.4. Détermination du pH

Le pH est déterminé à l'aide d'un pH-mètre (à une température de 23°C).

- * Prélever 5g d'échantillon ;
- * Placer l'échantillon dans un Becher ;
- * Ajouter 50ml d'eau distillée ;
- * Après 15min d'agitation, introduire l'électrode du pH mètre dans le Becher ;
- * La lecture du pH est effectuée lorsque l'afficheur est stable.

5.2.5. Acidité titrable (g/100ml)

La teneur en acidité du jus de tomate est très importante dans l'évolution du goût de la tomate.

Le principe de cette méthode consiste à la neutralisation de l'acidité par la solution d'hydroxyde de sodium en présence de la phénolphtaléine comme indicateur coloré (Afnor, 1974).

Préparation des solutions

- **Solution de phénolphtaléine à 1%**

La solution est préparée en mettant 1g de la phénolphtaléine dans 100ml d'éthanol (95°).

- **Solution de soude à 0.1N**

Pour la solution de soude à 0,1N, on a mis 2.22g de NaOH (N/9) dans 500ml d'eau distillée.

Mode opératoire

- * Peser 25g d'échantillon ;
- * Placer l'échantillon dans une fiole conique, on ajoute ensuite 50ml d'eau distillée chaude, préalablement bouillie, refroidie, puis bien mélangé. Chauffer le contenu au bain marie pendant 30 min ; refroidir puis transvaser le contenu de la fiole conique dans une fiole conique jaugée de 250ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie, refroidie, puis filtrer ;
- * Prélever à la pipette 25ml du filtrat, le verser dans un Becher, puis ajouter deux à trois gouttes de la solution de phénolphtaléine tout en agitant ;
- * Titrer à l'aide d'une burette contenant la solution d'hydroxyde de sodium jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante, puis noter le volume de la solution de soude versée.

Expression des résultats

Acidité titrable = $V_{\text{NaOH}} \times N \times 6.4 / 25\text{ml d'échantillon}$

$V_{\text{NaOH(ml)}}$: Volume titré de NaOH ;

N : Normalité de NaOH.

5.2.6. Teneur en vitamine C

L'acide ascorbique fond à 192°C, il est soluble dans l'eau. Son oxydation est accélérée quand le pH augmente (Frenot et Vierling, 2002).

Le dosage de la vitamine C se fait par la méthode iodométrique (**Barkatovet, 1979**).

Mode opératoire :

Mettre 50ml d'échantillon dans un Becher, ajouter 3ml de H_2SO_4 et quelques gouttes d'empois d'amidon à 0,5% comme indicateur coloré. Puis titrer avec une solution d'iode jusqu'à l'apparition d'une coloration verte persistante.

Expression des résultats :

$$V_C \text{ (mg/l)} = V_i \times 20 \times 4,4$$

V_i : Volume d'iode (ml).

5.2.7. Dosage du lycopène et du B-carotène dans la tomate

Le principe de ce dosage est de mesurer la teneur en B-carotène et du lycopène dans le jus de tomate en relation avec les différents traitements potassique apportés.

La méthode d'analyse utilisée est celle de **Lime et al., (1957)**, dont le principe est le suivant :

- * Peser 10g d'échantillon broyés puis ajouter 50ml d'acétone. Après agitation pendant 15min, verser le mélange dans une ampoule à décanter. Ajouter 30ml d'acétone pour le rinçage et en fin 50ml d'éther de pétrole.
- * Rajouter 60ml d'eau distillée pour faciliter la séparation des deux phases.
- * Après agitation, retourner les ampoules pour faire le dégazage. Ensuite on obtient deux phases, la phase aqueuse est jetée et la phase organique est récupérée dans une fiole conique jaugée de 50ml puis ajuster avec l'éther de pétrole jusqu'au trait de jauge.
- * Préparer les fioles pour le stockage au frais en utilisant 1g de sulfate de sodium anhydre.

- * Laisser une nuit au congélateur avant de faire la lecture avec un spectrophotomètre à UV visible sur deux longueurs d'ondes 451 et 503nm.

Expression des résultats :

$$C_L \text{ (mg/l)} = 3,956 \times DO_{503} - 0,806 \times DO_{451}$$

$$C_C \text{ (mg/l)} = 6,624 \times DO_{451} - 3,091 \times DO_{503}$$

C_L : Concentration en lycopène.

C_C : Concentration en B-carotène

5.2.8. Dosage des sucres

-Dosage des sucres réducteurs

Mode opératoire :

-Mettre 20ml de l'échantillon dans une fiole jaugé de 100ml en lui ajoutant 5 ml de solution d'acétate de plomb.

-Compléter avec de H_2O_D (eau distillée) jusqu'au trait de jauge, puis filtrer le mélange.

-Dans un bécher, 5ml de la solution Fehling (A) + 5ml de la solution Fehling (B), puis ajuster jusqu'à 100ml avec de l' H_2O du robinet puis mettre à l'ébullition.

-Titre au moyen du filtrat, la solution de Fehling (A/B) jusqu'à ce que la teinte bleu disparaisse.

-Ajouter 2 gouttes de bleu de méthylène et continuer la titration jusqu'à ce que la coloration bleue soit remplacée par une coloration rouge brique, à ce moment arrêter la titration, noter le volume du filtrat soit v_1 .

Expression des résultats :

$$\text{Sucres réducteurs : } S_R = 240 / V (V_1 - 0.05) \times 10$$

V = Volume de la prise d'essai

V_1 = Volume filtré (V_T)

-Dosage des sucres totaux

Le dosage des sucres totaux est mesuré par la technique de **Bertrand (1968)**.

Préparation de la liqueur de Fehling :

A- Fehling A (solution bleu) :

Mélanger dans 1 litre d'eau distillée 40g de $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ + 5ml de H_2SO_4 pur.

B-Fehling B (solution incolore):

Mélanger dans 1 litre d'eau distillée 200g de Tartrate de Na et K + 150g de NaOH solide.

Mode opératoire :

- * Peser 25g d'échantillon ;
- * Placer l'échantillon dans une fiole conique, on ajoute ensuite 50ml d'eau distillée chaude, préalablement bouillie, refroidie, puis bien mélangé. Chauffer le contenu au bain marie pendant 30 min ; refroidir puis transvaser le contenu de la fiole conique dans une fiole conique jaugée de 250ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie, refroidie, puis filtrer ;
- * Prendre 50ml du filtrat obtenu ;
- * Ajouter 5ml de Hcl concentré ;
- * Porter au bain marie à 70°C pendant 5 min puis neutraliser avec NaOH (10N) en présence de deux gouttes de phénolphtaléine à 1% ;
- * Ajuster à 100ml avec de l'eau distillée ;
- * Le filtrat obtenu est introduit dans une burette ;
- * Prendre 5ml de la solution de Fehling A et 5ml de la solution de Fehling B ;
- * Ajuster à 100ml avec de l'eau distillée ;
- * Mettre à l'ébullition sur plaque chauffante ;
- * Une fois l'ébullition terminée, ajouter deux gouttes de bleu de méthylène, puis titrer avec le filtrat ;
- * La fin de la titration va se traduire par un virage de la couleur bleu vers le marron brique avec formation d'un précipité d'oxyde cuivreux.
- * Arrêter la titration puis noter le volume du filtrat.

Expression des résultats :

$$S_T = 500 / V \times (V_2 - 0.05) \times 10$$

V : Volume de la prise d'essai. **V₂ :** Volume de la solution titré.



Dessiccateur



Etuve



Réfractomètre



Spectrophotomètre



Pieds à coulisse



PH mètre



Plaque chauffante



Ampoule a décanté



Jus de tomate



Les filtrats de jus de tomates dans des fioles de 50 ml

Figure 25: Matériels utilisés au laboratoire.

5.3. Etude statistique

L'interprétation des résultats obtenus est basée sur l'analyse statistique effectuée avec logiciel STAT-BOX.

Ce traitement consiste en une analyse de la variance. Si la probabilité révèle des différences significatives, une comparaison multiple des moyennes effectuée à l'aide du test de NEWMAN-KEULS nous permettra de faire un classement au seuil de 5%.

Stat Box est un logiciel d'analyse et de traitement statistique qui enrichit les capacités analytiques d'Excel. Simple à utiliser, accessible et riche en fonctions statistiques : tests paramétriques et non paramétriques, analyses factorielles, régression, classification, ANOVA,...Stat Box répond à tous les besoins en matière d'analyse statistique (**Diday et al., 1982**).



Résultats et discussion

1-Paramètres agronomiques

1.1. Diamètre final de la tige principale (cm)

Le diamètre de la tige principale nous renseigne sur la vigueur de la plante. Le tableau 16 montre que le plus grand diamètre de la tige est obtenu avec le traitement **K2 x D2 (2,43 cm)**, et les plus faibles diamètres sont obtenus avec les traitements **K1 x D1 (2.235 cm)**, et **K3xD3 (0.23cm)** (figure 26).

Tableau 16 : Diametre finale de la tige principale.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne $\pm$ écart-type	2.235 $\pm$ 0.483	2.43 $\pm$ 0.439	2.23 $\pm$ 0.505

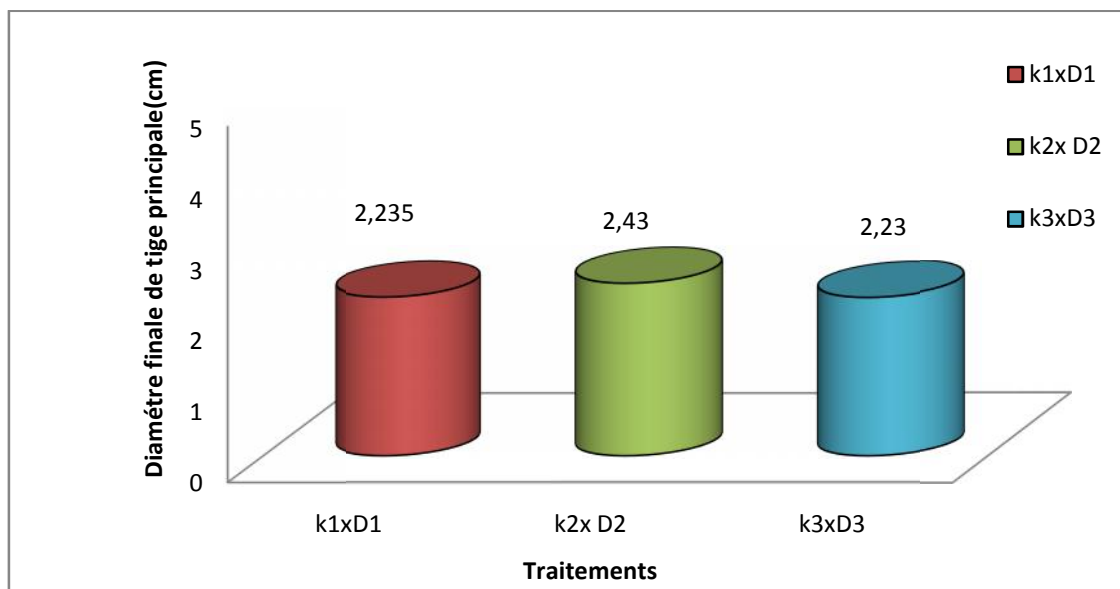


Figure 26 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le diamètre final de la tige principale.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 17) ne montrent aucune différence significative du facteur dose et du facteur bloc sur ce paramètre. L'absence de différence pour le facteur dose peut être due au stade d'apport des éléments minéraux notamment du potassium au stade début de floraison et le taux d'argile du sol élevé ayant limité l'efficacité d'absorption des éléments.

Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la variance du diamètre final de la tige principale.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	21.27	59	0.361				
Var. Facteur 1	0.52	2	0.26	0.905	0.41423		
Var. Facteur 2	2.956	4	0.739	2.571	0.05001		
Var. Inter f1*2	4.861	8	0.608	2.114	0.05379		
Var. Résiduelle	12.933	45	0.287			0.536	23.33%

1.2. Nombre de tiges par plant

Le tableau 18 montre que le plus grand nombre de tiges par plante est obtenu avec le traitement **K3xD3 (4,8)**, et les valeurs les plus faibles sont obtenus avec le traitement **K2xD2 (4,1)** et **K1xD1 (4.2)**, la figure 27 illustre ces différences.

Tableau 18 : Nombre de tiges par plant

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne écart-type	4.2±0.707	4.1±0.707	4.8±0.585

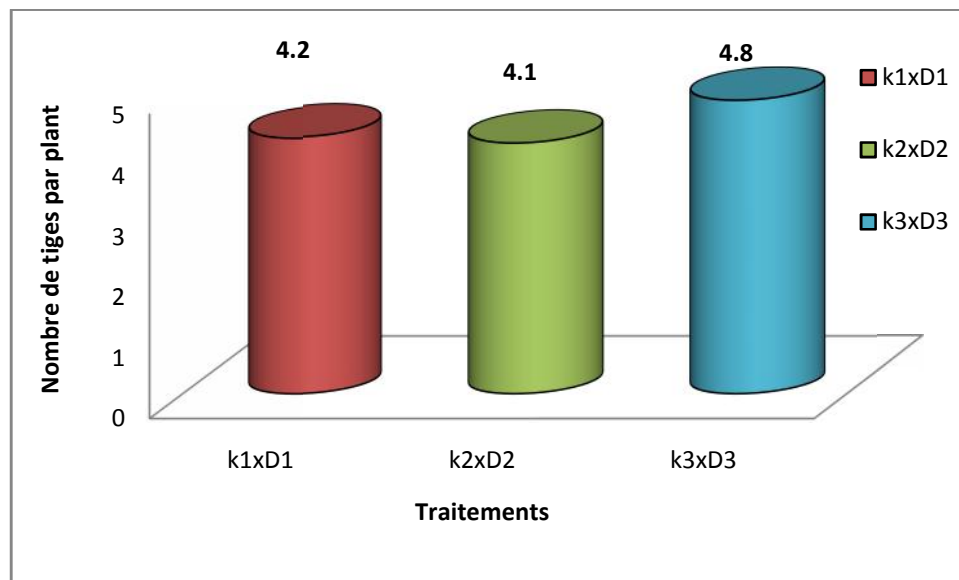


Figure 27 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le nombre de tiges par plant.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 19) montrent une différence significative du facteur dose et du facteur bloc sur ce paramètre.

En effet le test de NEWMAN-KEULS (Tableau 20) classe la dose D3 en groupe homogène A (4.8) et en groupe B les deux autres doses. Pour le facteur Bloc c'est le bloc3 qui est classé en groupe homogène A(Annexe.tab1),

L'interaction NxK (K3xD3 :250K/ha x 440N/ha) semble la plus intéressante dans l'expression du paramètre nombre de tige par plant.

Comme l'a signalé Bolay (1981) dans ses travaux sur pomme de terre et de la tomate de l'interaction positive de NxK sur les paramètres de production, il y'a un effet synergique.

Par ailleurs nos résultats sont contradictoire à ceux de **Ait Mouhammed et Hamdous(2006)** ou leur différence statistique est non significative cela pourrait être dû au faible taux de l'azote dans leur essai comparé au notre qui est riche en azote.

Tableau 19 : Résultats de l'analyse de la variance du nombre de tiges par plant.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	43.933	59	0.745				
Var. Facteur 1	5.733	2	2.867	5.059	0.01041		
Var. Facteur 2	9.767	4	2.442	4.309	0.005		
Var. Inter f1*2	2.933	8	0.367	0.647	0.73528		
Var. Résiduelle	25.5	45	0.567			0.735	17.24%

Tableau 20 : Test de NEWMAN-KEULS du nombre de tiges par plant.

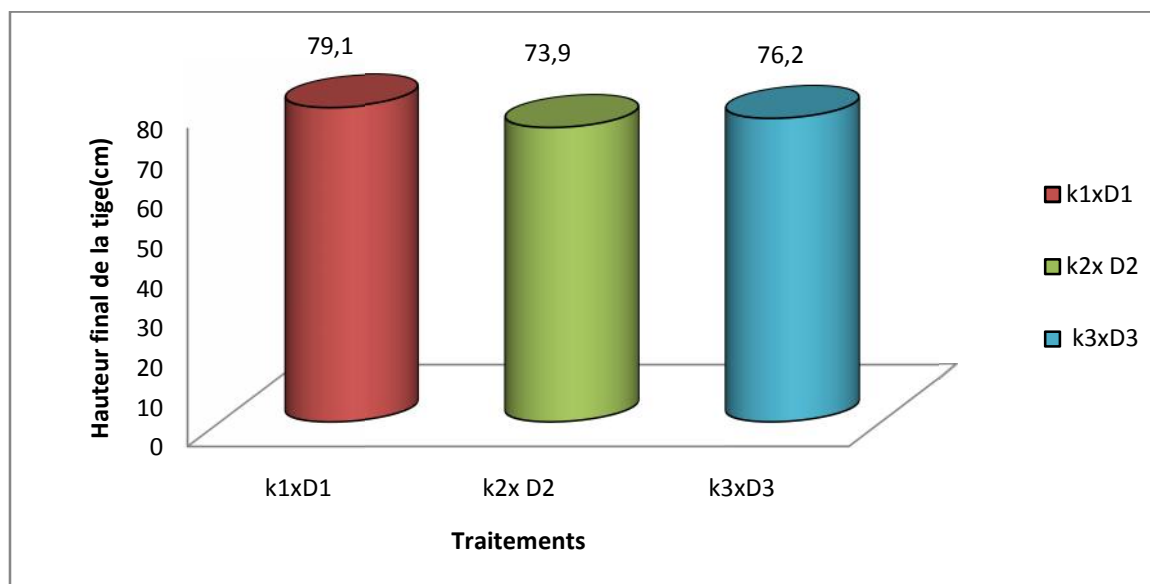
F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	K3xD3	4,8	A	
1.0	K1xD1	4,2		B
2.0	K2xD2	4,1		B

1.3. Hauteur finale de la tige par plant

La hauteur de la tige par plant la plus élevée est obtenue avec le traitement **K1 x D1 (79.1cm)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **k2x D2 (73.9)** (tableau21), (figure 28).

Tableau 21 : Hauteur finale de la tige par plant

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±ecart-type	79.1±15.477	73.9±9.441	76.2±8.561

**Figure 28** : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la hauteur finale de la tige principale.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 22) ne montrent aucune différence significative du facteur dose et du facteur bloc sur ce paramètre. L'absence de différence est peut être due au manque d'eau durant l'essai. Pour cela les plants n'ont pas bénéficié efficacement de l'apport de fertilisation NxK.

Tableau 22 : Résultats de l'analyse de la variance sur la hauteur finale de la tige par plant.

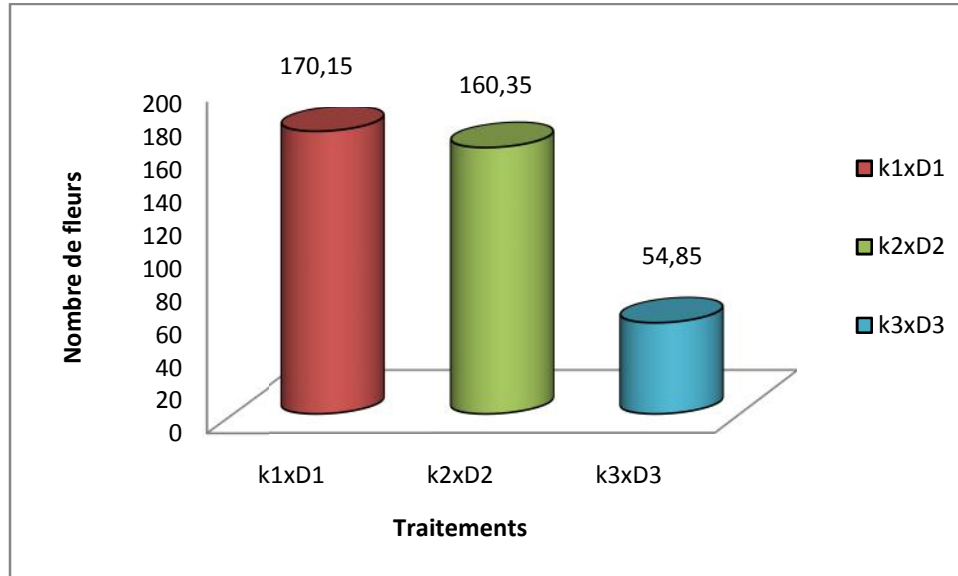
	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	10744.4	59	182.109				
Var. Facteur 1	271.6	2	135.8	0.8	0.45908		
Var. Facteur 2	1538.4	4	384.6	2.266	0.07603		
Var. Inter f1*2	1296.9	8	162.113	0.955	0.48289		
Var. Résiduelle	7637.5	45	169.722			13.028	17.05

1.4. Nombre de fleurs par plant

Le tableau 23 montre que le plus grand nombre de fleurs par bouquet est obtenu avec le traitement **K1xD1 (170.15)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **k3xD3 (54.85)** la figure 29 illustre ces différences.

Tableau 23 : Nombre de fleurs par plant.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	170.15±62.937	160.35±48.766	54.85±7.726


Figure 29 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le nombre de fleurs par plant.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 24) montrent une différence très hautement significative du facteur dose et du facteur bloc sur ce paramètre.

En effet le test de NEWMAN-KEULS (Tableau 25) classe la dose D1et D2 en groupe homogène A. pour le facteur Bloc c'est le bloc 3 qui est en groupe homogène A (Annexe.tab2).L'interaction entre le bloc et la dose et significative.

On peut lier ces déférences au sol bien ressuyé comparé aux autre blocs ayant permis la mobilité et la diffusion des éléments vers les racines.

Tableau 24 : Résultats de l'analyse de la variance sur le nombre de fleurs par plant

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	410822.9	59	6963.1				
Var. Facteur 1	163469.3	2	81734.63	30.252	0		
Var. Facteur 2	69675.03	4	17441.26	6.456	0.00038		
Var. Inter f1*2	56009.86	8	7001.232	2.591	0.02026		
Var. Résiduelle	121578.8	45	2701.75			51.978	40.47%

Tableau 25: Test de NEWMAN-KEULS du nombre de fleurs par plant

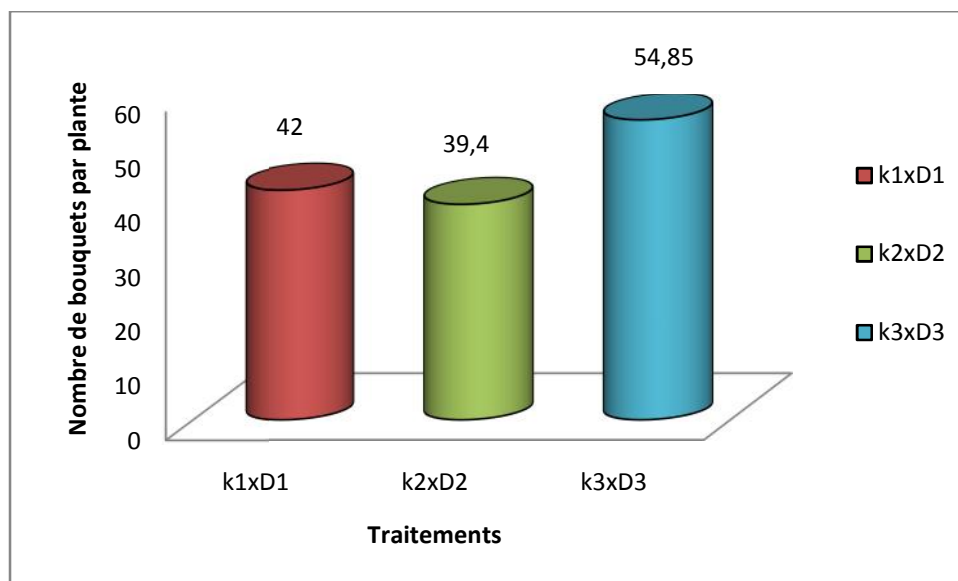
F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	K1xD1	170,15	A	
2.0	K2xD2	160,35	A	
3.0	K3xD3	54,85		B

1.5. Nombre de bouquet par plant

Le tableau 26 montre que le plus grande nombre de bouquet par plante est obtenu avec le traitement **k3xD3 (54.85)**, et la plus faible est obtenue avec le traitement **k2xD2 (39.4)** la figure 30 illustre ces différences.

Tableau 26 : Nombre de bouquet par plant.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	42±12.568	39.4±9.764	54.85±7.726


Figure 30: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur nombre de bouquet par plant.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 27) montrent des différences très hautement significatives du facteur dose et des différences très hautement significatives du facteur bloc sur ce paramètre.

En effet le test de NEWMAN-KEULS (Tableau 28) classe la dose D3 en groupes homogène A. pour le facteur Bloc c'est le bloc3 qui est en groupe homogène A(Annexe1.tab 4).

Nos résultats rejoignent ceux de **Khodja(2007)**, qui montre dans ces travaux des différences très hautement significatives, contrairement aux résultats de **Kherbache et Ziane (2014)**, qui n'ont trouvé aucune signification pour ce facteur. Cela peut être expliqué par la synergie que nous avons créée entre N x K, par rapport à eux, qui n'ont apporté que le potassium seul.

Tableau 27 : Résultats de l'analyse de la variance sur le nombre de bouquets par plant.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	13640.59	59	231.196				
Var. Facteur 1	13640.59	2	1368.618	10.357	0.00024		
Var. Facteur 2	4245.169	4	1061.292	8.031	0.00007		
Var. Inter f1*2	711.432	8	88.929	0.673	0.71368		
Var. Résiduelle	5946.75	45	132.15			11.496	25.31%

Tableau 28 : Test de NEWMAN-KEULS du nombre de bouquets par plant.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	K3xD3	54,85	A	
1.0	K1xD1	42		B
2.0	K2xD2	39,4		B

1.6. Nombre de bouquet par tige

Le tableau 29 montre que le plus grand nombre de bouquet par tige est obtenu avec le traitement **k3xD3 (11.8)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **k2xD2 (9.8)** (figure 31).

Tableau 29 : Nombre de bouquet par tige.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	10±3.091	9.8±2.529	11.8±2.466

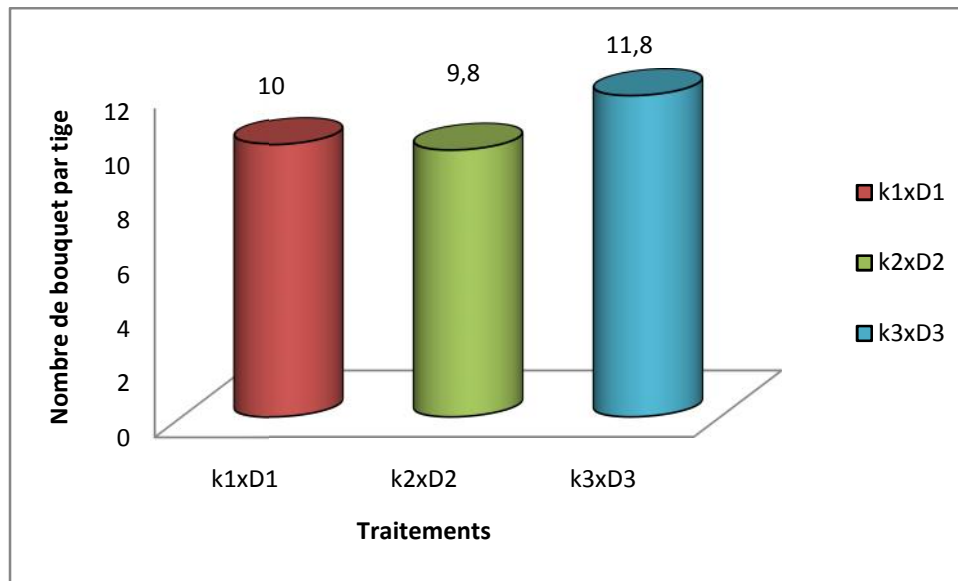


Figure 31 : Effet de l'interaction de différentes doses $N \times k$ sur le nombre de bouquet par tige

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 30) ne montrent aucune différence significative du facteur dose. Cependant, nous notons une différence très hautement significative du facteur bloc sur ce paramètre. Nos résultats rejoignent ceux obtenus par **Abdoussalam et Touzari(2006)**. Et contradictoire a celle obtenu par **Halladj(2005) et Khodja (2007)**. Ces résultats peuvent être expliqué par la forte teneur en argile du sol ayant limité la mobilité des éléments.

Tableau 30 : Résultats de l'analyse de la variance sur le nombre de bouquets par tige.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	758.933	59	12.863				
Var. Facteur 1	48.533	2	24.267	2.609	0.08289		
Var. Facteur 2	227.933	4	56.983	6.127	0.00055		
Var. Inter f1*2	63.967	8	7.996	0.86	0.55764		
Var. Résiduelle	418.5	45	9.3			3.05	28.95%

1.7. Nombre de fleurs par bouquet

Le tableau 31 montre que le plus grand nombre de fleurs par bouquet est obtenu avec le traitement **k3x D3 (4.2)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec les deux traitements **k2xD2** et **k1xD1 (4.15)** (figure 32).

Tableau 31 : Nombre de fleurs par bouquet.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	4.15±1.552	4.15±1.543	4.2±1.039

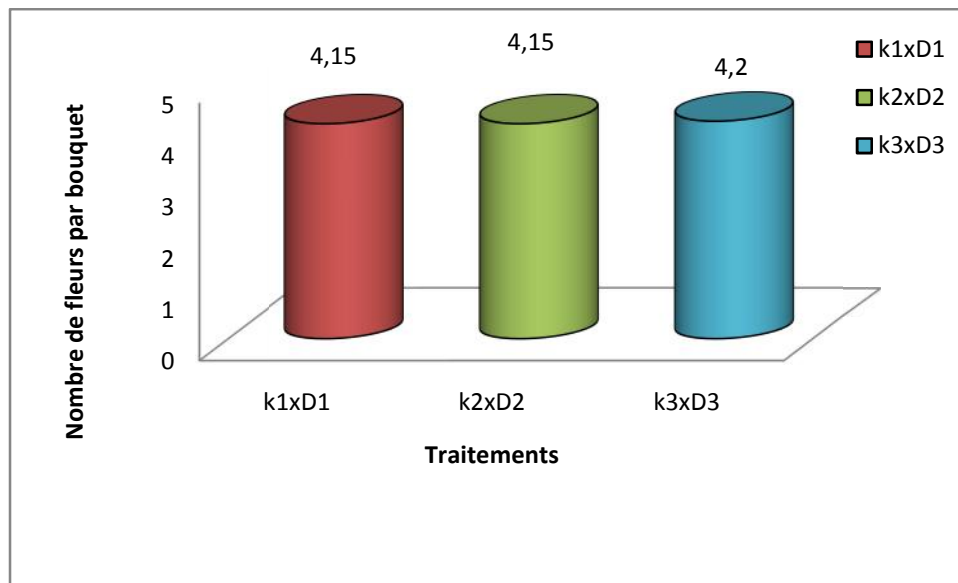


Figure 32: Effet de l'interaction de différentes doses Nxk sur le nombre de fleurs par bouquet

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 32) ne montrent aucune différence significative du facteur dose et une différence significative du facteur bloc sur ce paramètre. Cela peut être expliqué par le manque d'eau et les fortes températures relevées e au cours de la floraison .Nos résultats rejoint ceux de **Khodja (2007)**, pour les mêmes raisons évoquées.

Tableau 32 : Résultats de l'analyse de la variance sur le nombre fleurs par bouquet.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	166.33	59	2.819				
Var. Facteur 1	0.033	2	0.017	0.007	0.99		
Var. Facteur 2	46.5	4	11.625	4.692	0.0309		
Var. Inter f1*2	8.3	8	1.038	0.419	0.90379		
Var. Résiduelle	111.5	45	2.478			1.574	37.78%

1.8. Nombre de fleurs avortées

Le tableau 33 montre que le plus grand nombre de fleurs avortées est obtenu avec le traitement **K3xD3 (165.85)** et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **K2xD2 (108.45)** la figure 33 illustre ces différences.

Tableau 33 : Nombre de fleurs avortées par plant.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	118.35±65.656	108.45±45.014	165.85±71.104

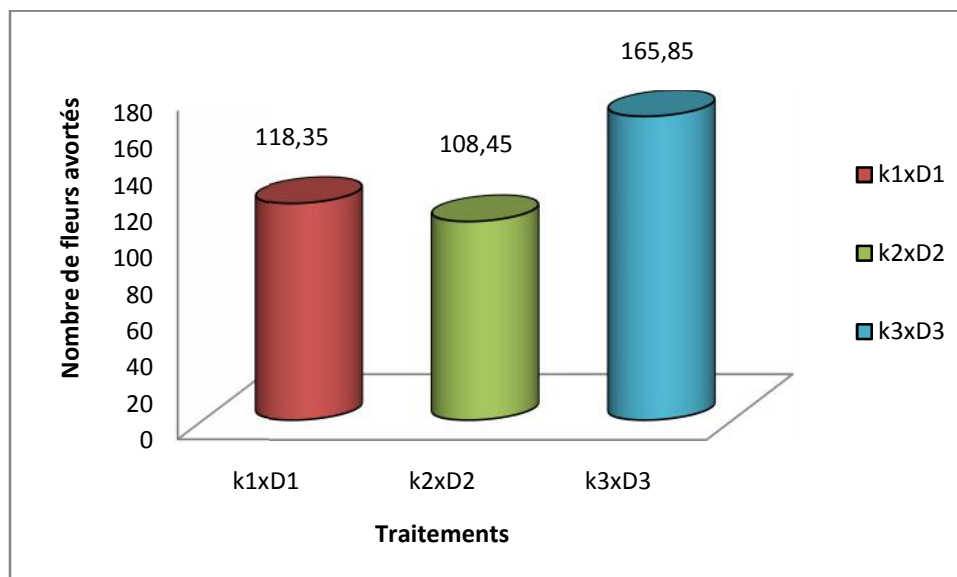


Figure33 : Effet de l'interaction de différentes doses de NxK sur le nombre de fleurs avortés par plant.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 34) montrent une différence significative du facteur dose et une différence très hautement significative du facteur bloc sur ce paramètre.

En effet le test de NEWMAN-KEULS (Tableau 34) classe la dose D3 en groupe homogène A. Pour le facteur Bloc c'est le bloc3 qui se trouve classé en groupe homogène A(Annexe1.tab7).

Nos résultats sont contradictoires à ceux de **Khodja (2007)**, La différence peu être due aux conditions climatiques, notamment les températures élevées pendant le mois de Juillet et Aout, sans oublier le manque d'eau durant tout le cycle, qui a accentué l'avortement des fleurs.

Tableau 34: Résultats de l'analyse de la variance sur le nombre de fleurs avortés par plant.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	468152.3	59	7934.784				
Var. Facteur 1	37660.19	2	18830.09	3.915	0.02655		
Var. Facteur 2	185922	4	46480.5	9.663	0.00001		
Var. Inter f1*2	28106.31	8	3513.289	0.73	0.66528		
Var. Résiduelle	216463.8	45	4810.306			69.356	52.99%

Tableau 35 : Test de NEWMAN-KEULS du nombre de fleurs avortés par plant.

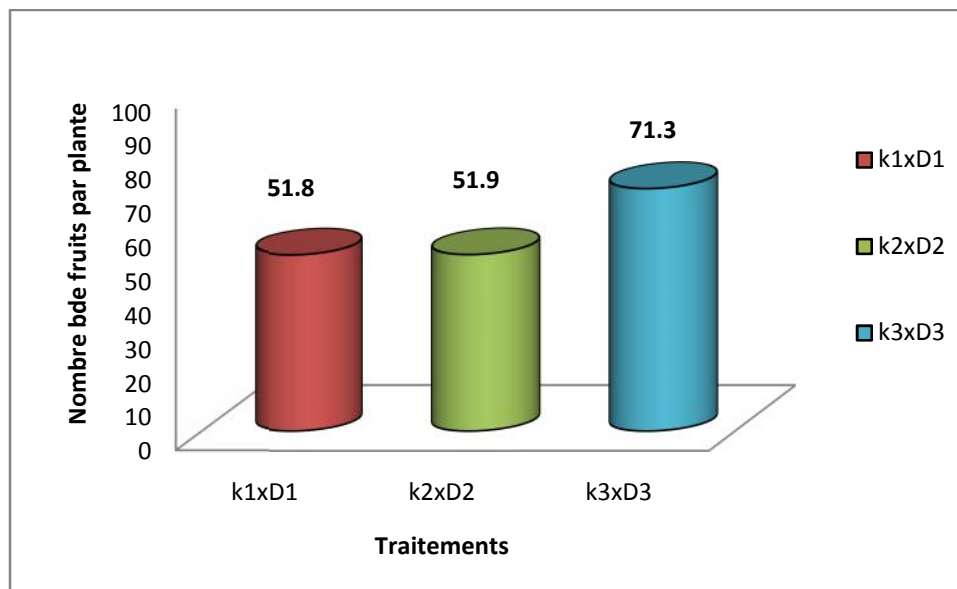
F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	K3xD3	165.85	A	
1.0	K1xD1	118.35		B
2.0	K2xD2	108.45		B

1.9. Nombre de fruits par plant

Le tableau 36 montre que le plus grand nombre de fruits par plant est obtenu avec le traitement **K3xD3 (71.3)** et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **K1xD1 (51.8)** la figure 34 illustre ces différences.

Tableau 36 : Nombre de fruits par plant.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	51.8±12.435	51.9±11.81	71.3±24.857

**Figure 34** : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le nombre de fruits par plant.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 37) montrent une différence hautement significative du facteur dose et une différence significative du facteur bloc sur ce paramètre.

En effet le test de NEWMAN-KEULS (Tableau 38) classe la dose D3 en groupes homogène A. Pour le facteur Bloc c'est le bloc 2 qui est en groupe homogène A (Annexe1.tab8).

Nos résultats rejoignent ceux obtenus par **Ait Mouhammed et Hamdous (2006)**, Nous pouvons noter que le stress hydrique a accéléré la maturation des fruits avant d'atteindre leur plein stade de grossissement qui limitera leur poids par fruit, qui provoque des fruits de petit calibre (moins gros) ce qui a augmenté le nombre de fruits et qui donne un rendement peu élevé.

Tableau 37 : Résultats de l'analyse de la variance du nombre de fruits par plant.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	32181.33	59	545.446				
Var. Facteur 1	5044.133	2	2522.066	6.55	0.00331		
Var. Facteur 2	5403.166	4	1350.792	3.508	0.01415		
Var. Inter f1*2	4406.533	8	550.817	1.43	0.20974		
Var. Résiduelle	17327.5	45	385.056			19.623	33.64%

Tableau 38 : Test de NEWMAN-KEULS du nombre de fruits par plant.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	K3xD3	71.3	A	
2.0	K2xD2	51.9		B
1.0	K1xD1	51.8		B

1.10. Poids total des fruits par plant (g)

Le tableau 39 montre que le Poids total le plus important des fruits par plante est obtenu avec le traitement **K3xD3 (1909.85)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **K2x D2 (1526.15)** la figure 35 illustre ces différences

Tableau 39: Poids total des fruits par plant.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	1886.45 ± 283.589	1526.15 ± 328.711	1909.85 ± 603.014

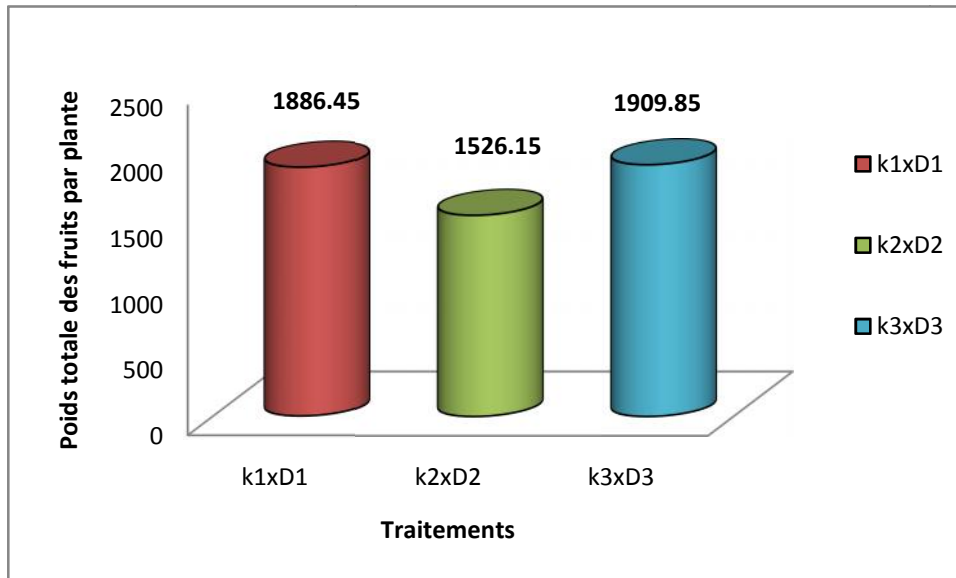


Figure 35: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le poids total des fruits par plant.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 40) montrent une différence significative du facteur dose et une différence hautement significatives du facteur bloc sur ce paramètre.

En effet le test de NEWMAN-KEULS (Tableau 41) classe la dose D3 et D1 en groupe homogène A. Pour le facteur Bloc c'est le bloc 2 qui est en groupe homogène A(Annexe.tab9). la dose D3 semble être efficace sur le poids total des fruits par plant.

Nos résultats rejoignent ceux de **Khodja(2007)**, et contradictoire à ceux obtenu par **Abdoussalam et Touzari (2006)** et **Kherbache et Ziane (2014)**, qui n'ont pas trouvé un effet significatif .Cela est lié au fait que dans leurs essais il n'ya pas eu d'apport NxK comme ce fut dans notre cas.

Tableau 40 : Résultats de l'analyse de la variance sur le poids total des fruits par plant.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	24488480	59	415059				
Var. Facteur 1	1850600	2	925300	3.969	0.02536		
Var. Facteur 2	3537026	4	884256.	3.793	0.00972		
Var. Inter f1*2	8610951	8	1076369	4.617	0.00039		
Var. Résiduelle	10489900	45	233109			482.814	27.21%

Tableau 41: Test de NEWMAN-KEUL du poids total des fruits par plant.

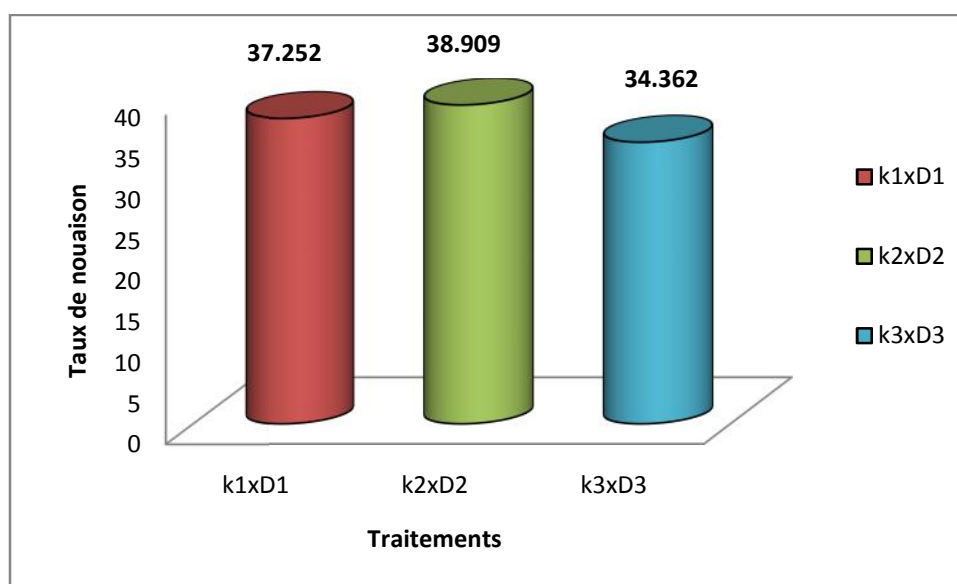
F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	K3xD3	1909.85	A	
1.0	K1xD1	1886.45	A	
2.0	K2xD2	1526.15		B

1.11. Taux de nouaison des fruits par plant

Le tableau 42 montre que le plus grand taux de nouaison est obtenu avec le traitement **K2xD2 (38.909)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **K3xD3 (34.362)**, (figure 36).

Tableau 42: Taux de nouaison des fruits par plant.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	37.52±13.292	38.909±16.711	34.362±18.08

**Figure 36 :** Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le taux de nouaison des fruits par plant

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 43) ne montrent aucune différence significative du facteur dose et une différence hautement significatives du facteur bloc sur ce paramètre.

Tableau 43: Résultats de l'analyse de la variance sur le taux de nouaison de fruits par plant..

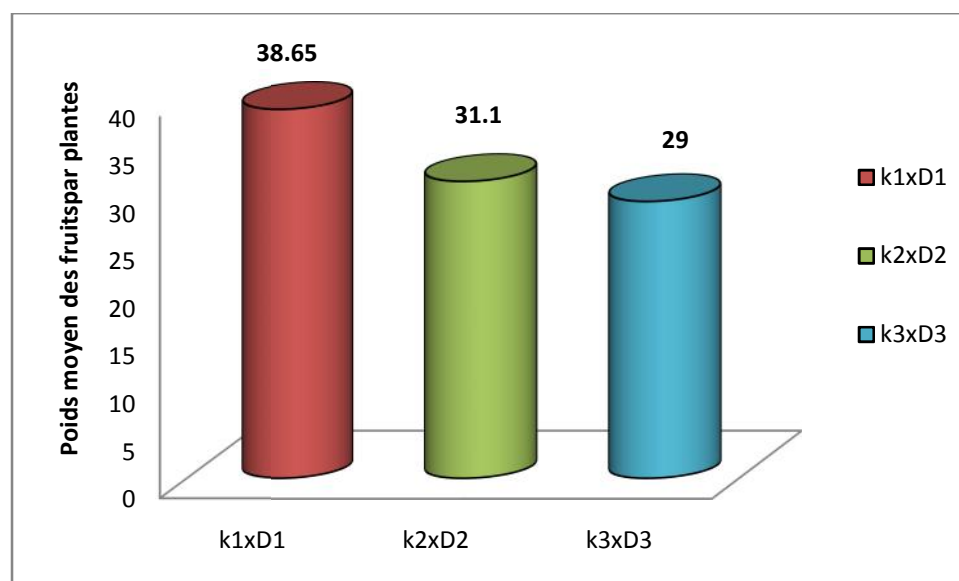
	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	22876.75	59	387.742				
Var. Facteur 1	221.916	2	105.958	0.321	0.731750		
Var. Facteur 2	62.74537	4	1568.634	4.746	0.00289		
Var. Inter f1*2	1516.565	8	189.571	0.574	0.79497		
Var.Résiduelle	14873.73	45	330.527			18.18	49.35%

1.12. Poids moyen d'un fruit par plant

Le tableau 44 montre que le plus grand Poids total des fruits par plante est obtenu avec le traitement **K1xD1 (38.65)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **K3x D3(29)**, la figure 37 illustre ces différences.

Tableau 44 : Poids moyen d'un fruit par plant.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
moyenne±écart-type	38.65±9.684	31.1±7.623	29±9.217


Figure 37 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le poids moyen d'un fruit par plant.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 45) ne montrent une différence hautement significative du facteur dose et une différence significative du facteur bloc sur ce paramètre.

En effet le test de NEWMAN-KEULS (Tableau 46) classe la dose D1 en groupes homogène A.

Les mêmes résultats sont obtenus par **Ait Mohammed et Hamdous (2006)**, On peut remarquer qu'au fur et à mesure qu'on augmente la fertilisation NxK, le poids moyen d'un fruit diminue. Le stress hydrique et la salinité ont tendance à faire baisser le poids moyen d'un fruit.

Tableau 45 : Résultats de l'analyse de la variance sur le poids moyen d'un fruit par plant.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	8330.585	59	141.196				
Var. Facteur 1	1030.235	2	515.117	5.151	0.00967		
Var. Facteur 2	832.169	4	208.042	2.081	0.09816		
Var. Inter f1*2	1968.432	8	246.054	2.461	0.02647		
Var. Résiduelle	4499.75	45	99.994			10	30.38%

Tableau 46 : Test de NEWMAN-KEULS du poids moyen d'un fruit par plant.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	K1xD1	38.65	A	
2.0	K2xD2	31.1		B
3.0	K3xD3	29		B

1.13. Rendement potentiel (qx ha)

Le tableau 47 montre que le plus grand Rendement potentielle est obtenu avec le traitement **K1xD1 (471.613)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **K2xD2(381.538)**, (figure 38).

Tableau 47 : Rendement potentiel qtx/ha

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	471.613±70.897	381.538±82.178	423.294±143.79

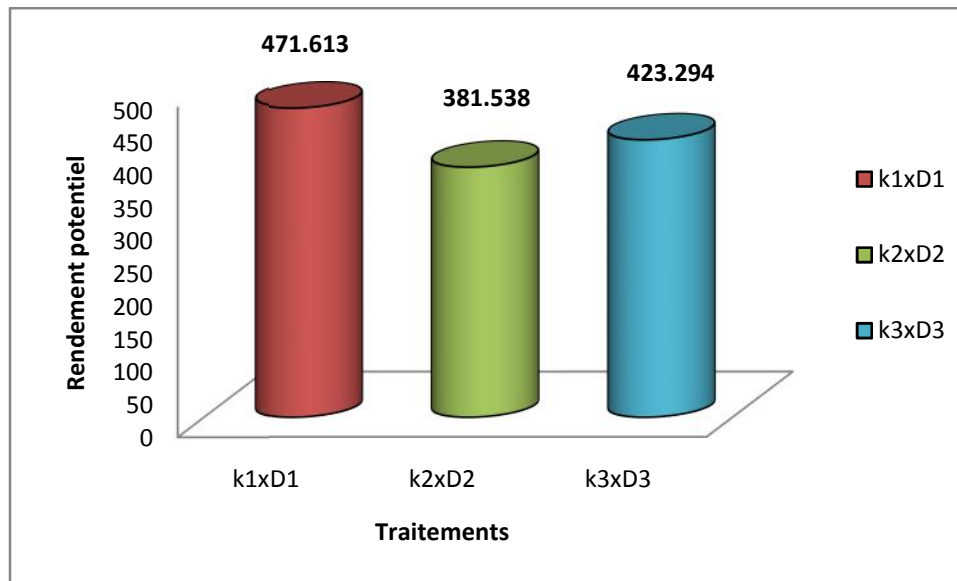


Figure 38: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le rendement potentiel.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 48) ne montrent aucune différence significative du facteur dose et du facteur bloc sur ce paramètre. Par ailleurs nos résultats sont contradictoire à ceux de **Ait Mohammed et Hamdous (2006)**, ou leur différence statistique est très hautement significatives cela est probablement dues aux forts chaleurs liées au manque d'eau ayant probablement limité le rendement.

Tableau 48: Résultats de l'analyse de la variance sur le rendement potentiel.

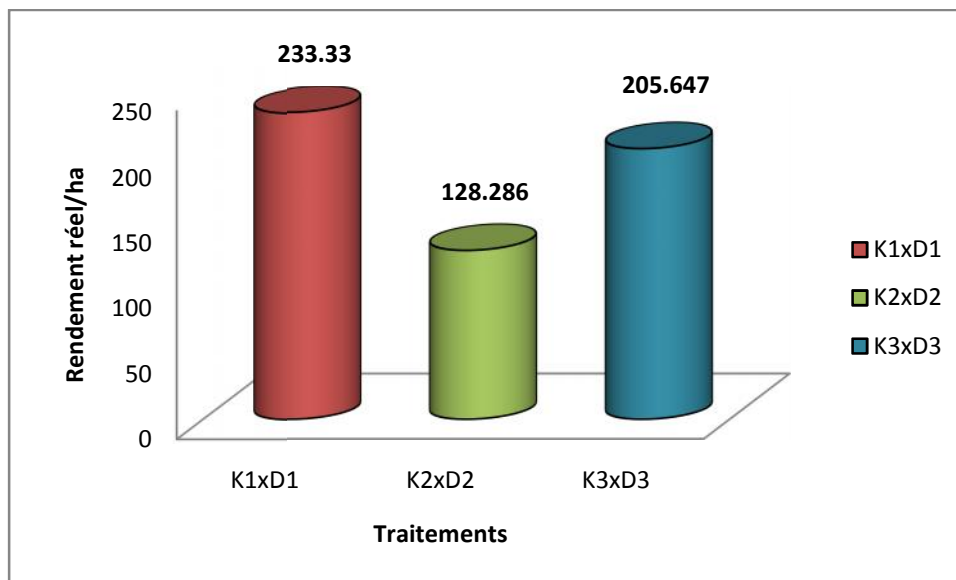
	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	1037479	59	17584.39				
Var. Facteur 1	81278.44	2	40639.22	2.966	0.06026		
Var. Facteur 2	92241.38	4	23060.34	1.683	0.16948		
Var. Inter f1*2	247307.8	8	30913.47	2.256	0.04027		
Var. Résiduelle	616651.3	45	13703.36			117.061	27.51%

1.14. Rendement réel (qx/ha)

Le tableau 49 montre que le plus grand Calibre moyen est obtenu avec le traitement **K2xD2 (4.578)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **K3xD3 (4.336)**, la figure39 illustre ces différences.

Tableau 49 : Rendement réel/ha

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	531.987	128.286	510.33

**Figure 39 :** Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le rendement réel.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 50) ne montrent aucune différence significative du facteur dose et du facteur bloc sur ce paramètre.

Tableau 50 : Résultats de l'analyse de la variance sur le rendement réel.

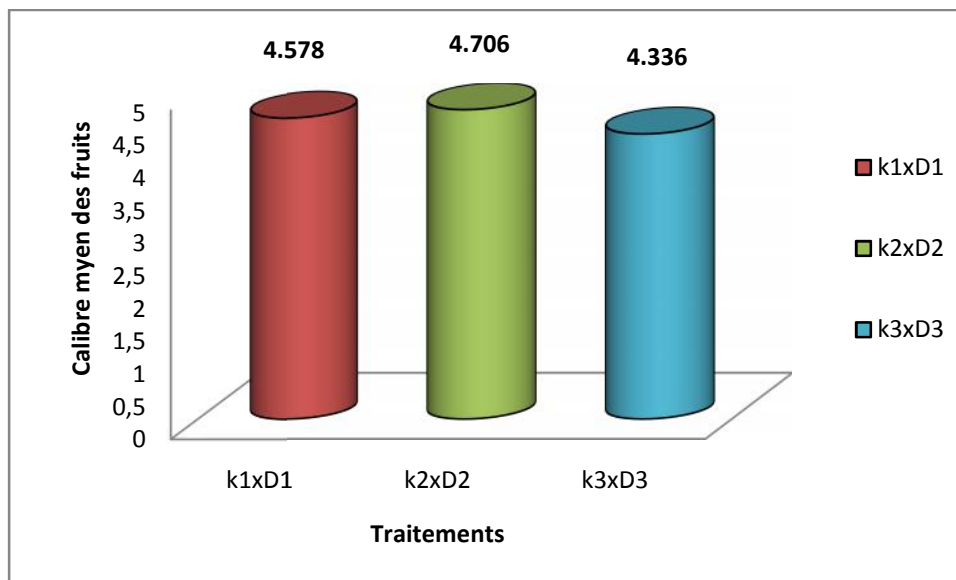
	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	1473878	14	105277				
Var. Facteur 1	515667.8	2	257833.9	4.43	0.05039		
Var. Facteur 2	492597.3	4	123149.3	2.116	0.17004		
Var. Résiduelle	465613.2	8	58201.65			241.25	61.83%

1.15. Calibre moyen des fruits

Le tableau 51 montre que le plus grand Calibre moyen est obtenu avec le traitement **K2xD2 (4.578)**, et la valeur la plus faible est obtenue avec le traitement **K3xD3 (4.336)**, la figure40 illustre ces différences.

Tableau 51: Calibre moyen des fruits.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	4.578±0.381	4.706±0.54	4.336±0.486

**Figure 40:** Effet de l'interaction de différentes doses de NxK sur le calibre moyen des fruits.

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 52) montrent une différence hautement significative du facteur dose et aucune différence significative du facteur bloc sur ce paramètre.

En effet c'est la dose K2xD2 qui enregistre le plus grand calibre du fruit.

La croissance en volume du fruit peut être également analysée sous l'angle des flux d'eau et de carbone. En effet, les variations de volume du fruit résultent du bilan entre les entrées d'eau et de carbone par le xylème et le phloème et des sorties par la transpiration et la respiration. Les sucres sont apportés par le phloème et une bonne compréhension de l'importance respective des flux permet de mieux comprendre comment les sucres et l'eau s'accumulent dans le fruit. Ces différents flux peuvent être appréciés expérimentalement. La perméabilité dépend de facteurs de l'environnement (par exemple elle est diminuée en cas de stress salin) et elle est très variable selon les espèces et au sein d'une même espèce selon les variétés. Cette variabilité génétique entraîne une large gamme de sensibilité des fruits à la transpiration ce qui a des conséquences sur la croissance du fruit et l'établissement de sa teneur en matière sèche (**Lescourret et al., 2001**).

Tableau 52 : Résultats de l'analyse de la variance sur le calibre moyen des fruits.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	27.036	59	0.458				
Var. Facteur 1	4.993	2	1.248	4.393	0.0045		
Var. Facteur 2	1.41	4	0.705	2.481	0.09308		
Var. Inter f1*2	7.845	8	0.981	3.451	0.00358		
Var. Résiduelle	12.788	45	0.284			0.533	11.74%

2. Paramètres technologiques

2.1. Teneur en eau d'un fruit

Le tableau 53 montre que la valeur maximal de la teneur en eau dans le jus de tomate est obtenue avec le traitement **K1xD1 (95.83 %)**, et la valeur minimal est obtenue avec le traitement **K3xD3 (93.867 %)**, la figure 41 illustre ces différences.

Tableau 53: Teneur en eau dans le jus de tomate.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	95.833±0.737	95.567±0.252	93.867±0.289

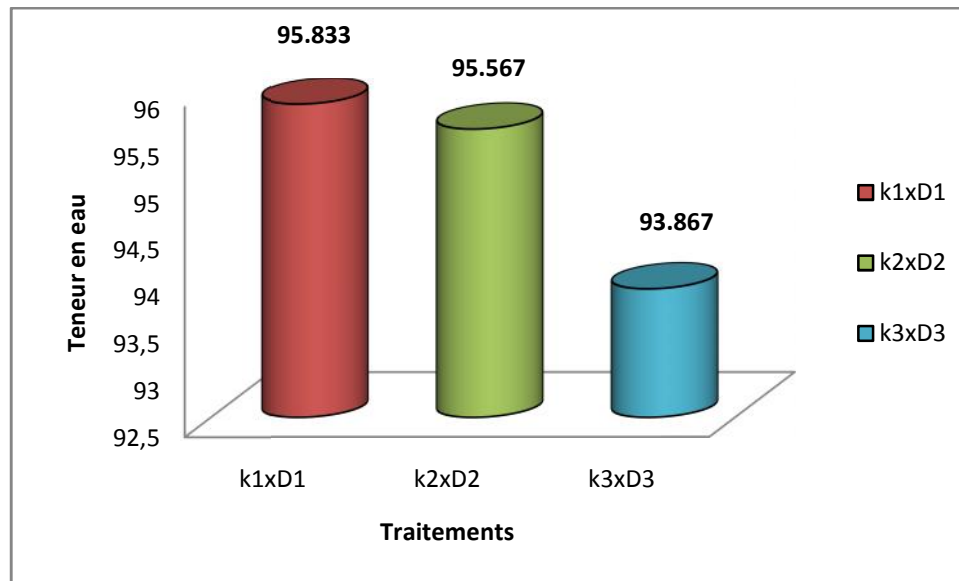


Figure 41: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la teneur en eau.

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 54) montrent une différence hautement significative du facteur étudié sur ce paramètre. En effet le NxK semble diminuer la teneur en eau des fruits.

Le test de NEWMAN-KEULS (tableau 55) fait apparaître deux groupes homogènes, avec groupe A le traitement D1(95.833) et D2(95.567) et en groupe B avec le traitement D3(93.867).

Tableau 54 : Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en eau du jus de tomate.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	8.209	8	1.026				
Var. Facteur 1	6.829	2	3.414	14.846	0.00533		
Var. Résiduelle	1.38	6	0.23			0.48	0.50%

Tableau 55: Test de NEWMAN-KEULS de la teneur en eau du jus de tomate.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	K1xD1	95.833	A	
2.0	K2xD2	95.567	A	
3.0	K3xD3	93.867		B

2.2. Teneur en matière sèche du jus de tomate

Le tableau56 montre que la valeur maximal de la teneur en matière sèche du jus de tomate est obtenue avec le traitement **K1xD1 (0.737)**, et la valeur minimale est obtenue avec le traitement **K3x D3(0.252)**, la figure42 illustre ces différences.

Tableau56: Teneur en matière sèche du jus de tomate.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	0.737±0.737	0.252±0.252	0.289±0.289

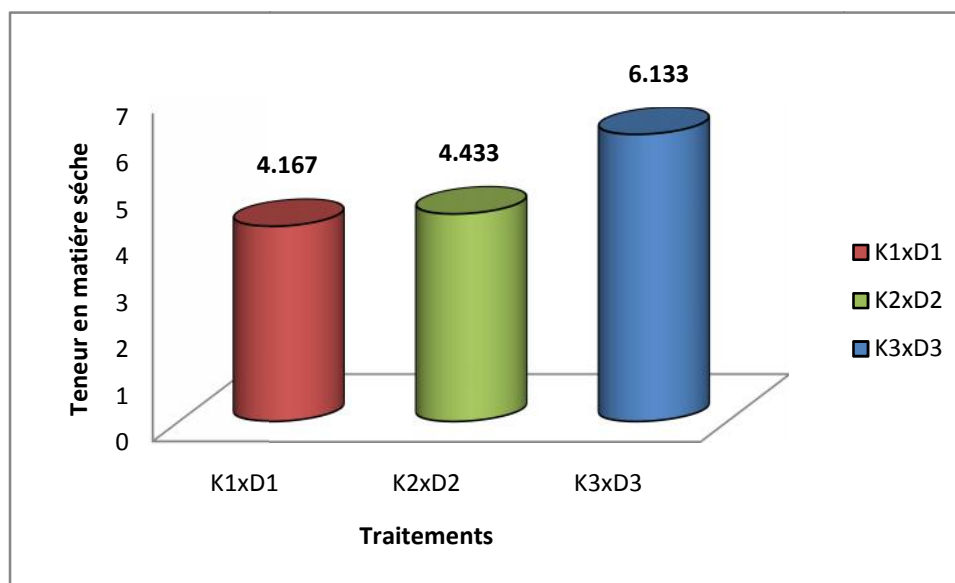


Figure 42 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur teneur en matière sèche.

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau57) montrent une différence hautement significative du facteur étudié sur ce paramètre. En effet l'interaction NxK semble diminuer le taux de matière sèche des fruits.

Cette différence peut être expliquée selon **Giroux, (1998)** ayant travaillé sur pomme de terre par l'augmentation du potassium dans les tubercules qui crée un appel d'eau dans les cellules qui a comme effet la diminution de la teneur en matière sèche.

Le test de NEWMAN-KEULS (tableau 58) fait apparaitre deux groupes homogènes, avec en groupe A le traitement D3(6.133) et en groupe B le traitement D1(4.433) et D2(4.167).

Tableau 57 : Résultats de l'analyse de la variance sur la teneur en matière sèche du jus de tomate.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
--	-------	-----	------	--------	-----	------	------

Var. Totale	8.209	8	1.026				
Var. Facteur 1	6.829	2	3.414	14.845	0.00533		
Var. Résiduelle	1.38	6	0.23			0.48	9.77%

Tableau 58: Test de NEWMAM-KEULS de la teneur en matière sèche du jus de tomate.

	LIBELLES	MOYENNES	GROUPE HOMOGÈNE	
3.0	K3xD3	6.133	A	
2.0	K2xD2	4.433		B
1.0	K1xD1	4.167		B

2.3. Détermination des Sucres totaux (g/l)

Le tableau 59 montre que la valeur maximale de la teneur en sucres totaux du jus de fruit est obtenue avec le traitement **K1xD1 (10.727)**, et la valeur minimale est obtenue avec le traitement **K3x D3 (8.733)**, la figure43 illustre ces différences.

Tableau 59 : Sucres totaux du jus de tomate.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	16.22±2.53	13.654±0.245	14.671±2.162

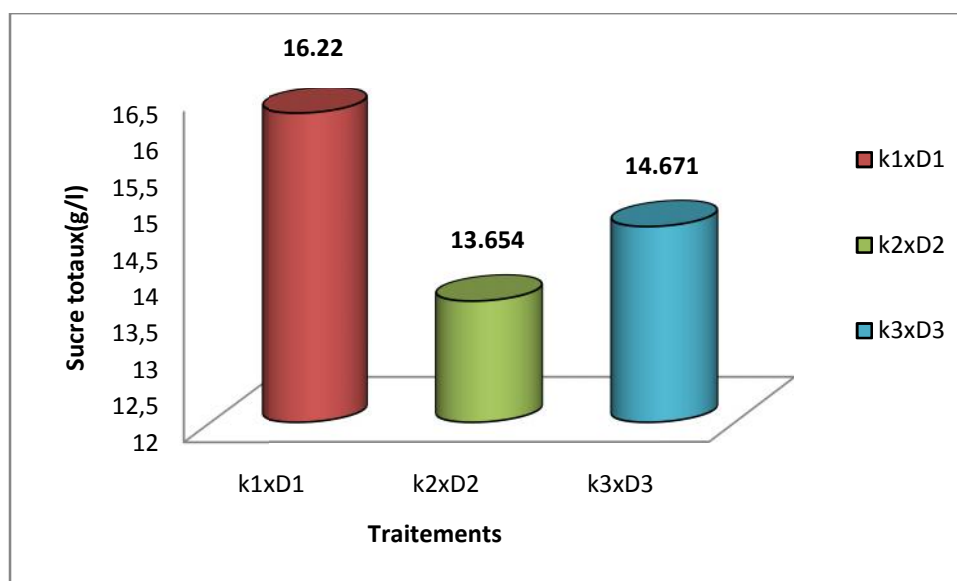


Figure 43 : Effet de l'interaction de différentes doses N x K sur les sucres totaux du jus de tomate.

Les résultats d'analyses de la variance (tableau 60) ne montrent aucune différence significative du facteur interaction NxK et du facteur bloc sur ce paramètres technologiques, il en est de même pour leur interaction, la valeur la plus élevée est K1D1 (16.22) Nos résultats confirment ceux de **Abdoussalam et Touzari (2006)** et **Khodja (2007)**, bien que nos valeurs sont plus élevées que leurs valeurs.

Tableau 60: Résultats de l'analyse de la variance sur les sucres totaux.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	32.285	8	4.036				
Var. Facteur 1	10.016	2	5.008	1.349	0.32886		
Var.Résiduelle	22.27	6	3.712			1.927	12.98%

2.4. Détermination des Sucres réducteurs (g/l)

Le tableau 61 montre que la valeur maximal du sucre réducteur du jus de fruit est obtenue avec le traitement **K1xD1 (10.727)**, et la valeur minimale est obtenue avec le traitement **K3xD3 (8.733)**, la figure44 illustre ces différences.

Tableau 61 : Sucres réducteurs du jus de tomate.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	10.727±0.24	9.337±0.316	8.733±0.122

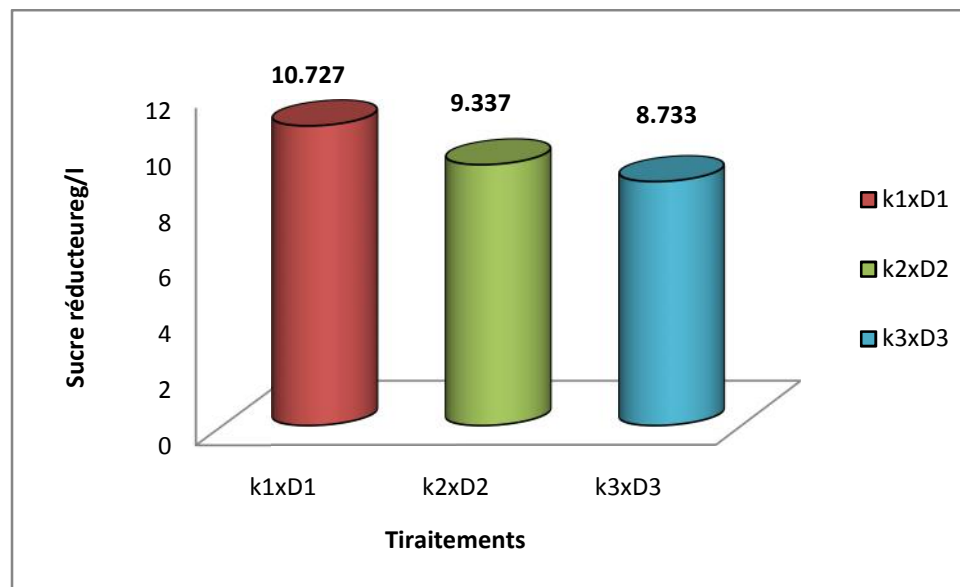


Figure 44: Effet de l'interaction de différentes doses N x K sur les sucres réducteurs du jus de tomate.

Les résultats d'analyses de la variance (tableau 62) montrent une différence très hautement significative du facteur dose.

Le test de NEWMAN-KEULS (tableau 63) fait apparaître trois groupes homogènes A, B et C avec en groupe A la dose D1 (10.727).

Dans notre essai, les doses plus élevées en fertilisation ne semblent pas augmenter le taux de sucres du fruit.

Tableau 62: Résultats de l'analyse de la variance du sucre réducteur.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	6.614	8	0.827				
Var. Facteur 1	6.269	2	3.135	54.612	0.00029		
Var. Résiduelle	0.344	6	0.057			0.24	2.50%

Tableau 63: Test de NEWMAN- KEULS du sucre réducteur.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	K1xD1	10.727	A		
2.0	K2xD2	9.337		B	
3.0	K3xD3	8.733			C

1.5. PH du jus de tomate

Le tableau 64 montre que la valeur maximal du PH du jus de fruit est obtenue avec le traitement **K3xD3 (4.023)**, et la valeur minimal est obtenue avec le traitement **K1x D1 (3.55)**, la figure 45 illustre ces différences.

Tableau 64: PH du jus de tomate.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	3.55±0.052	3.61±0.03	4.023±0.035

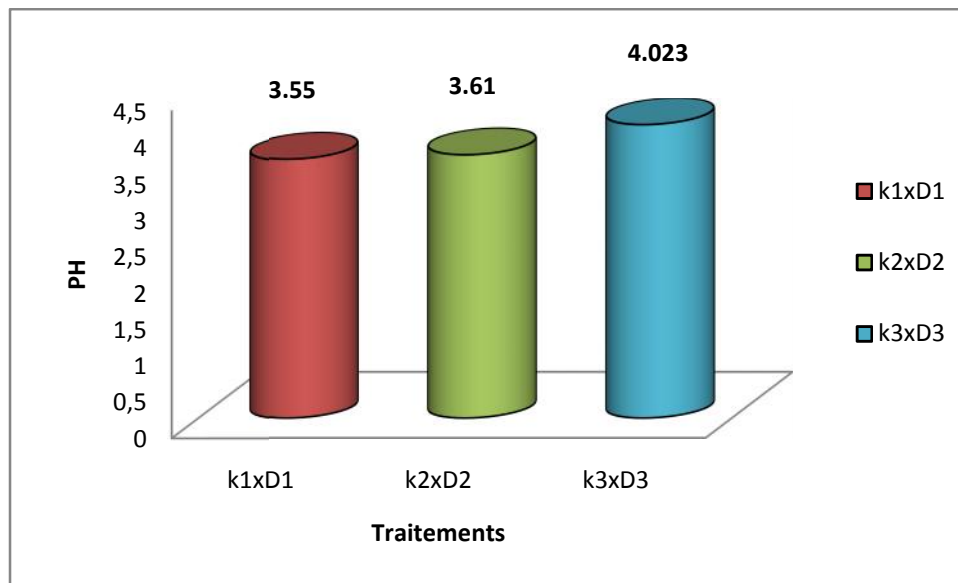


Figure 45: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le pH du jus de tomate.

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 65) montrent une différence très hautement significative des facteurs dose en potassium et date de récolte ainsi l'interaction des deux facteurs, la dose K3xD3 semble être la dose qui fait enregistrer la valeur du pH la plus élevée. Nos résultats rejoignent ceux de **Belmelat et Merabet (2007)** ; **Boumendjel et al., (2012)** ; **Javaria et al. (2012)** ; **Kacel et Kacimi (2013)** ; **Mezouer et Mokdad (2009)**. Selon **Lester et al. (2005)**, l'augmentation des niveaux de N.K dans le sol, fait diminuer le taux de pH dans le jus de tomate.

Le test de NEWMAN-KEULS (tableau 66) au seuil de 5% pour le facteur dose sur le PH de jus de tomate fait apparaitre deux groupes homogènes A et B dans la plus grande est D3 (4.023) et la plus petite D1 (3.55).

Tableau 65 : Résultats de l'analyse de la variance sur le PH.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	0.408	8	0.051				
Var. Facteur 1	0.398	2	0.199	123.718	0.00006		
Var. Résiduelle	0.01	6	0.002			0.04	1.08%

Tableau 66 : Test de NEWMAN-KEULS du PH.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	K3xD3	4.023	A	
2.0	K2xD2	3.61		B
1.0	K1xD1	3.55		B

1.6. Acidité titrable(g /100ml)

Une bonne acidité du jus de fruit de tomate intervient dans la conservation du concentré de tomate sans oublier son rôle dans la qualité gustative du fruit. Selon **Miladi (1970)**, sa teneur ne doit pas être inférieure à 0.35%. Au cours de notre essai, la plus grande valeur en acidité titrable est obtenue avec le traitement **K1xD1 (0.737)**, et la plus faible valeur est obtenue avec le traitement **K3x D3(0.383)** (tableau67), la figure 46 illustre ces différences.

Tableau 67 : Acidité titrable du jus de tomate.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	0.737±0.065	0.579±0.032	0.383±0.081

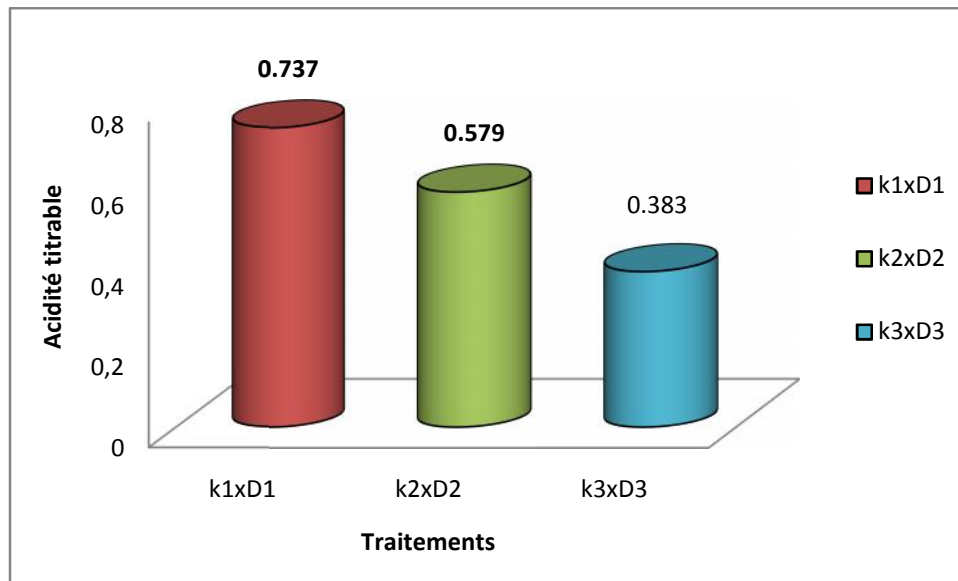


Figure 46: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur l'acidité titrable du jus de tomate.

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 68) illustre une différence hautement significative. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenu par (**Bamouh et al., 2010**) qui a noté l'effet positive de NxK sur l'acidité titrable chez le cl mentinier.

Aussi **Rey et Costes (1965)**, signale dans leurs travaux sur tomate l'effet positive du NxK sur l'acidité de jus de tomate.

Le test de NEWMAN-KEULS (tableau 69) au seuil de 5% pour le facteur dose sur l'acidité titrable fait apparaitre trois groupes homogènes A, B et C dans la plus grande est D (0.737) et la plus petite D1 (0.383).

Tableau 68: Résultats de l'analyse de la variance sur acidité titrable.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	0.213	8	0.027				
Var. Facteur 1	0.189	2	0.095	24.156	0.00174		
Var. Résiduelle	0.024	6	0.004			0.063	11.06%

Tableau 69 : Test de NEWMAN-KEULS de l'acidité titrable.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	K1xD1	0.737	A		
2.0	K2xD2	0.579		B	
3.0	K3xD3	0.383			C

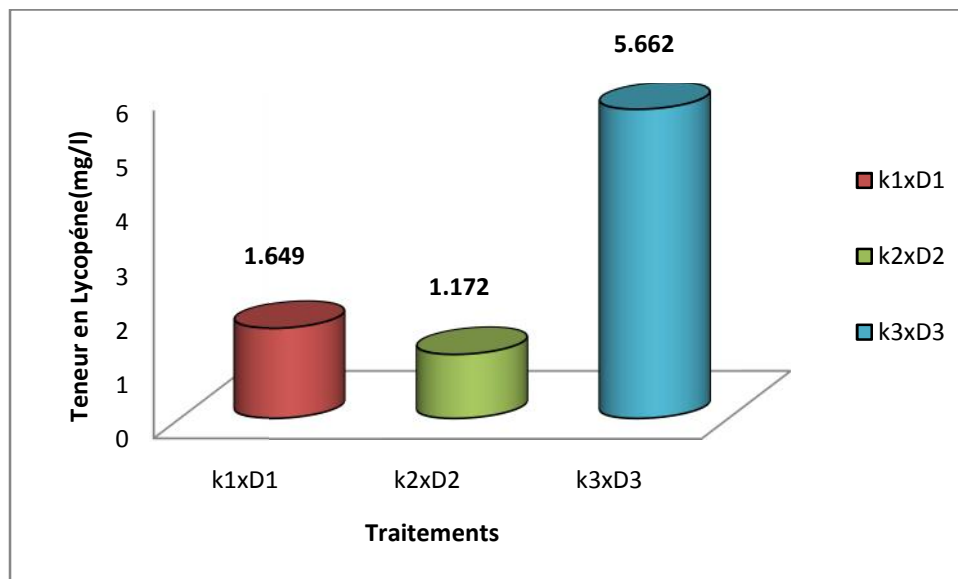
2.7. Dosage du lycopène et du B-carotène

2.7.1. Teneur en Lycopène (mg/l)

Le tableau 70 montre que la valeur maximale de la teneur en lycopène du jus de tomate est obtenue avec le traitement **K3x D3 (5.662)**, et la valeur minimale est obtenue avec le traitement **K1x D1(1.649)**, la figure 47 illustre ces différences.

Tableau 70 : Teneur en lycopène du jus de tomate (mg/l).

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	1.649±0.095	1.172±0.074	5.662±0.064


Figure 47 : Effet de l'interaction de différentes doses de NxK sur la teneur en lycopène.

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 71) montrent une différence très hautement significative du facteur dose. Nos résultats montrent que l'interaction NxK entraîne une augmentation de la concentration des fruits en lycopène ou la valeur la plus élevée est

enregistré avec le traitement K3xD3. Il semblerait que les fortes concentrations en éléments entraînent une hausse dans l'accumulation du lycopène.

Le test de NEWMAN-KEULS (tableau 72) au seuil de 5% pour le facteur dose sur la teneur lycopène de jus de tomate, fait apparaître trois groupes homogènes, avec en groupe A le traitement D3(5.662) en groupe B le traitement D1(1.649) et le groupe C le traitement D2(1.172).

En effet, nos résultats rejoignent ceux de **Taber et al. (2008)**, qui rapportent dans ses travaux que la fertilisation minérale, notamment potassique augmente la teneur en lycopène du jus de tomate.

Tableau 71 : Résultats de l'analyse de la variance du lycopène.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	36.532	8	4.567				
Var. Facteur 1	36.495	2	18.248	2961.327	0		
Var.Résiduelle	0.037	6	0.006			0.078	2.78%

Tableau 72 : Test de NEWMAN-KEULS du lycopène..

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0	K3xD3	5.662	A		
1.0	K1xD1	1.649		B	
2.0	K2xD2	1.172			C

2.7.2. Teneur en B-carotène (mg/l)

Le tableau 73 montre que la valeur maximale de la teneur en B-carotène du jus de tomate est obtenue avec le traitement **K3x D3 (4.564)**, et la valeur minimale est obtenue avec le traitement **K2x D2(1.467)**, la figure 48 illustre ces différences.

Tableau 73 : Teneur en B-carotène (mg/l)

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne±écart-type	2.58±0.035	1.467±0.036	4.564±0.059

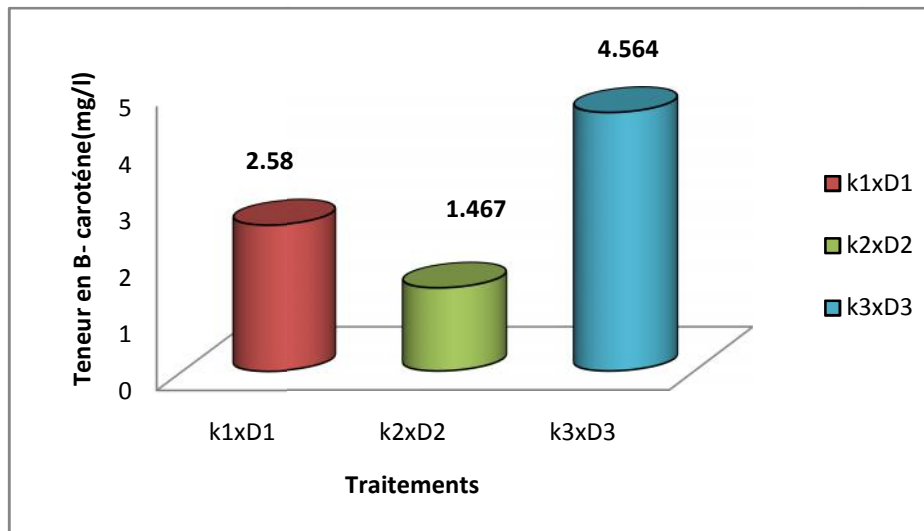


Figure 48 : Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la teneur en B-carotène.

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 74) montre une différence très hautement significative du facteur dose sur la teneur en b-carotène. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Taber et al., (2008)**, qui ont signaler que la fertilisation NxK affecte positivement la biosynthèse des caroténoïdes.

Le test de NEWMAN-KEULS (tableau 75) au seuil de 5% pour le facteur dose sur la teneur lycopène de jus de tomate, fait apparaitre trois groupes homogènes, avec en groupe A le traitement D3(40564)) en groupe B le traitement D1 (2.58) et le groupe C le traitement D2(1.467).

En effet, c'est la dose D3xK3 qui enregistre la plus haute teneur en B-carotène

Tableau 74 : Résultats de l'analyse de la variance du B-carotène.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	14.778	8	1.847				
Var. Facteur 1	14.766	2	7.383	3698.786	0		
Var. Résiduelle	0.012	6	0.002			0.045	1.56%

Tableau 75 : Test de NEWMAN-KEULS du B-carotène.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0	K3xD3	4.564	A		
1.0	K1xD1	2.58		B	
2.0	K2xD2	1.467			C

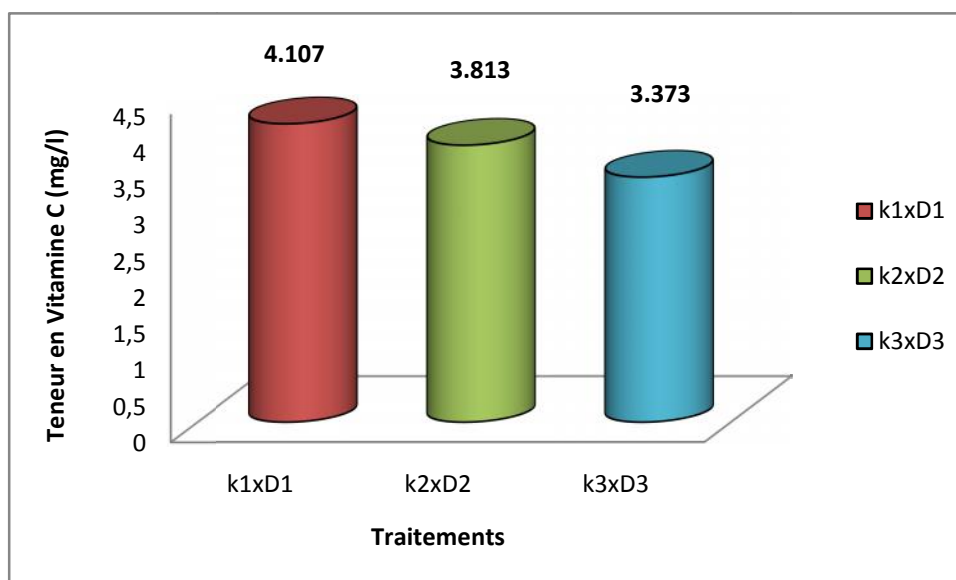
2.8. La vitamine C (acide ascorbique) (mg/l du jus de tomate)

La vitamine C du jus de tomate est très importante, en plus de sa valeur nutritive, elle joue un rôle d'antioxydant important dans les défenses. Aussi, elle rentre dans la conservation du concentré de tomate après transformation.

La valeur maximale et la valeur minimale en vitamine C est obtenues respectivement avec les traitements **K1xD1(4.107)** ; **K3xD3(3.373)**, tableau 76, (figure 49).

Tableau 76: La vitamine C du jus de fruit (mg/l) :

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
moyenne±écart-type	4.107±0.254	3.813±0.508	3.373±0.672

**Figure 49**: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur la teneur en vitamine C.

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 76) ne montrent aucune différence significative des doses étudiées sur la teneur en vitamine C. Bien que certains auteurs comme **Combris et al., (2011)**, signalent une baisse de la teneur en vitamine C lorsque la teneur en azote dans le sol augmente.

Tableau 77 : Résultats de l'analyse de la variance de la vitamine C du jus de tomate.

	S.C.E	DDL	C.M.	Test F	Pro	E.T.	C.V.
Var. Totale	2.366	8	0.296				
Var. Facteur 1	0.817	2	0.409	1.583	0.28058		
Var. Résiduelle	1.549	6	0.258			0.508	13.50%

2.9. Indice réfractomètre du jus (Brix)

L'indice réfractomètre ou Brix du jus de tomate détermine le pourcentage des sucres solubles contenus dans le jus de fruit ; il représente un des plus importants paramètres lors de la transformation en concentré de tomate. Au cours de notre essai, la valeur maximale à ce paramètre est obtenue avec le traitement **K1xD1(6)** (tableau 78) et la valeur minimale est obtenue avec le traitement **K2x D2 (5)**, figure 50 illustre ces différences.

Tableau 78 : Brix du jus de tomate.

Traitement	K1xD1	K2xD2	K3xD3
Moyenne	6	5	5.5

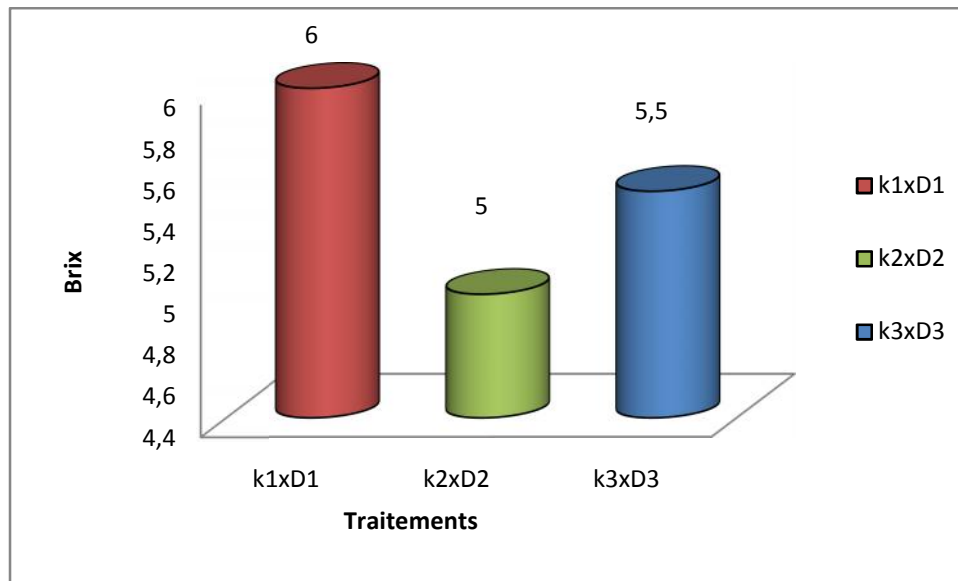


Figure 50: Effet de l'interaction de différentes doses NxK sur le Brix.

La figure 50 montre que le taux de l'extrait soluble (Brix) le plus élevé est obtenu avec la dose K1xD1 (6) et le plus faible taux obtenu avec la dose K2xD2(5) c'est valeurs sont dans les normes para-port au caractéristique de la variété (tableau 78) qui montre pour la Rio-grand un Brix qui varie de 4.5 à 7.

Discussion générale

L'amélioration de la qualité des produits est un enjeu économique, de santé publique et scientifique. Les résultats obtenus sur la tomate montrent que la croissance du fruit résulte de la multiplication des cellules et de leur croissance en taille et en volume ; ces deux processus sont fortement modulés par le nombre de fruits en croissance sur la plante.

La composition en sucres, acides, vitamine C et métabolites secondaires est déterminée par le stade de développement du fruit, les paramètres de l'environnement (température, rayonnement) et par les modes de gestion de la culture (taille, charge en fruits, fertilisation azotée, génotype). Ces derniers sont capables de stimuler la croissance du fruit, le niveau de maturité et l'évolution des teneurs en matière sèche et en composés, sous l'influence de facteurs comme la disponibilité en eau.

Nous nous intéressons à l'accumulation de sucres et acides dans le fruit en tant que composés majoritaires issus du métabolisme primaire, caractérisant la qualité gustative, et à des composés minoritaires tels que la vitamine C, les caroténoïdes et les composés phénoliques pour leur rôle dans la valeur nutritionnelle du fruit.

La matière sèche des fruits est principalement composée de sucres, environ 50% de la MS (Blanc, 1986). Le saccharose importé des feuilles, et hydrolysé dans les fruits en glucose et fructose. Le jeune fruit peut également stocker des sucres sous formes d'amidon qui sera dégradé au cours de la maturation. La cellulose et l'hémicellulose représente environ 10% de la MS et les acides organiques 13% (Blanc, 1986).

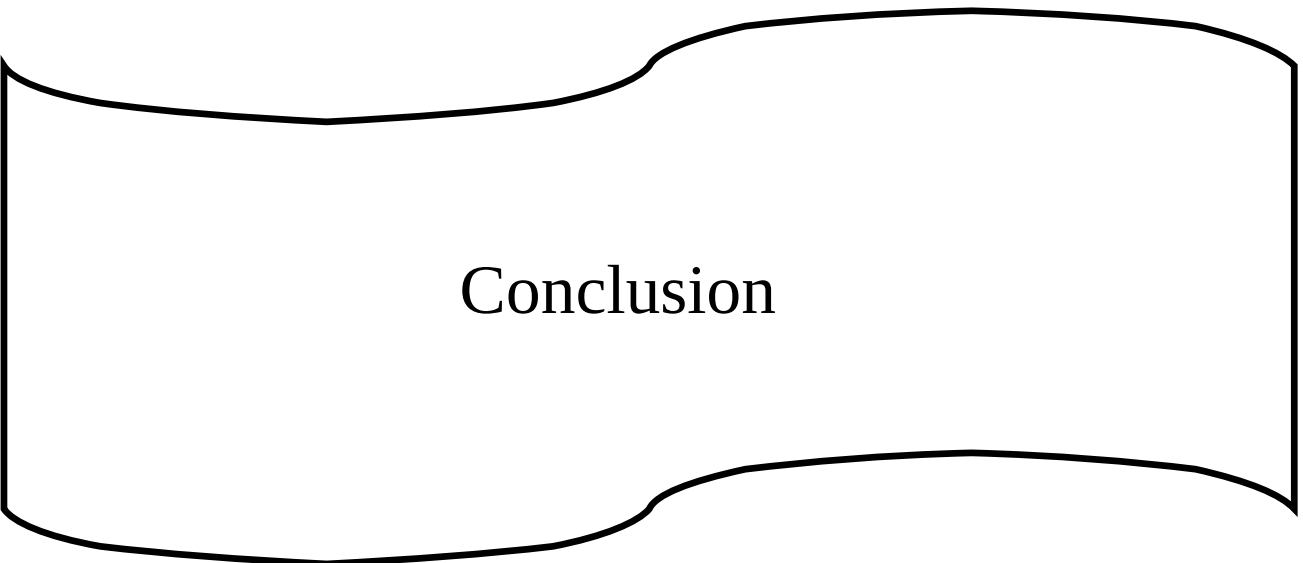
En cours de la culture, la composition en caroténoïde, en composés phénoliques et en vitamine C des fruits produites sur les bouquets successifs varie plus fortement avec la saison qu'en fonction de la nutrition azotée de la plante. Ces différences sont déterminées par le climat, l'éclairement lumineux des fruits et par leurs températures, la température élevée au-dessus de 30 °C le lycopène pigment responsable de la couleur rouge de fruit ne se forme plus c'est le B-carotène qui se forme donnant ainsi une coloration jaune-orange au fruit (Bénard *et al.*, 2009).

Une réduction de la fertilisation azotée favorise l'accumulation de sucre, réduit la concentration en acides.

Les fruits collectés sur les tomates cultivés à faible niveau d'azote ont tendance à être plus riches en poly-phénols, alors que la concentration en caroténoïdes n'est pas affectée par l'azote (Bénard et *al.*, 2009).

Le statut hydrique des plantes est un paramètre physiologique essentiel à évaluer chez une culture. En effet, le potentiel hydrique influence le taux de transpiration et d'absorption de l'eau par les plantes (Basiouny et coll., 1994). La tomate est très sensible au stress hydrique (Salter, 1954; Waister et Hudson, 1970). Un manque d'eau dans le sol (irrigation déficiente) ou une demande évaporative qui excède la capacité de prélèvement de l'eau du sol par les racines sont les principales causes d'un stress hydrique. Sous un stress hydrique modéré, la conductance stomatique diminue limitant ainsi la transpiration et la photosynthèse suite à un mouvement restreint du CO₂ et de la vapeur d'eau (Benton Jones, 1999). Cette réponse a longtemps été expliquée en considérant que la diminution du flux hydrique entraînait automatiquement une modification du potentiel hydrique foliaire et la fermeture des stomates à partir d'un certain seuil (Jones, 1992). Cependant, diverses expériences récentes ont montré que ce mécanisme était souvent insuffisant pour rendre compte à lui seul du comportement des stomates. D'autres résultats expérimentaux ont permis de montrer qu'il existe chez diverses plantes un mécanisme supplémentaire de rétrocontrôle faisant intervenir une hormone végétale, l'acide abscissique (ABA) (Hartung et coll., 2002). En conditions de sécheresse, les racines synthétisent l'ABA. Transportée par la sève brute, cette hormone agit sur les stomates en provoquant leur fermeture. La sécheresse stimule aussi considérablement la synthèse de l'ABA dans les feuilles. L'ABA bloque le fonctionnement des ATPases membranaires entraînant une baisse de la turgescence des cellules de garde et la fermeture des stomates. Ce mécanisme permet une adaptation rapide au stress hydrique. L'ABA administré artificiellement a le même effet sur les stomates (Pol, 1998).

Il est recommandé d'assurer une bonne alimentation hydrique durant tout le cycle de la culture.



Conclusion

Au terme de notre étude ayant porté sur l'interaction NxK sur les paramètres agronomiques et technologiques chez une variété de tomate industrielle, les principaux résultats obtenus sont comme suit :

Des trois doses de fertilisation NxK apportés la dose D3xK3 semble la plus intéressante sur les paramètres tels que :

- Nombre de tige par plant.
- Poids moyen des fruits.
- Calibre moyen des fruits.
- Nombre de bouquets floraux par plant.
- Nombre de fruits par plant.
- Poids totale des fruits par plant.
- Lycopène.

Pour la dose D1xK1 :

- B-carotène.
- Sucres réducteurs.
- Acidité titrable.
- Vitamine C.
- Degré Brix.
- Teneur en eau et en matière sèche.

Vu que le sol est bien pourvu en azote, l'interaction NxK a été positive sur les paramètres suscités.

Par ailleurs, le manque de différences significatives sur les autres paramètres sont probablement dus aux contraintes suivantes :

- Taux d'argile relativement élevé (57%).
- Le manque d'eau du a des pannes répétées qui ont limité la diffusion des éléments minéraux.

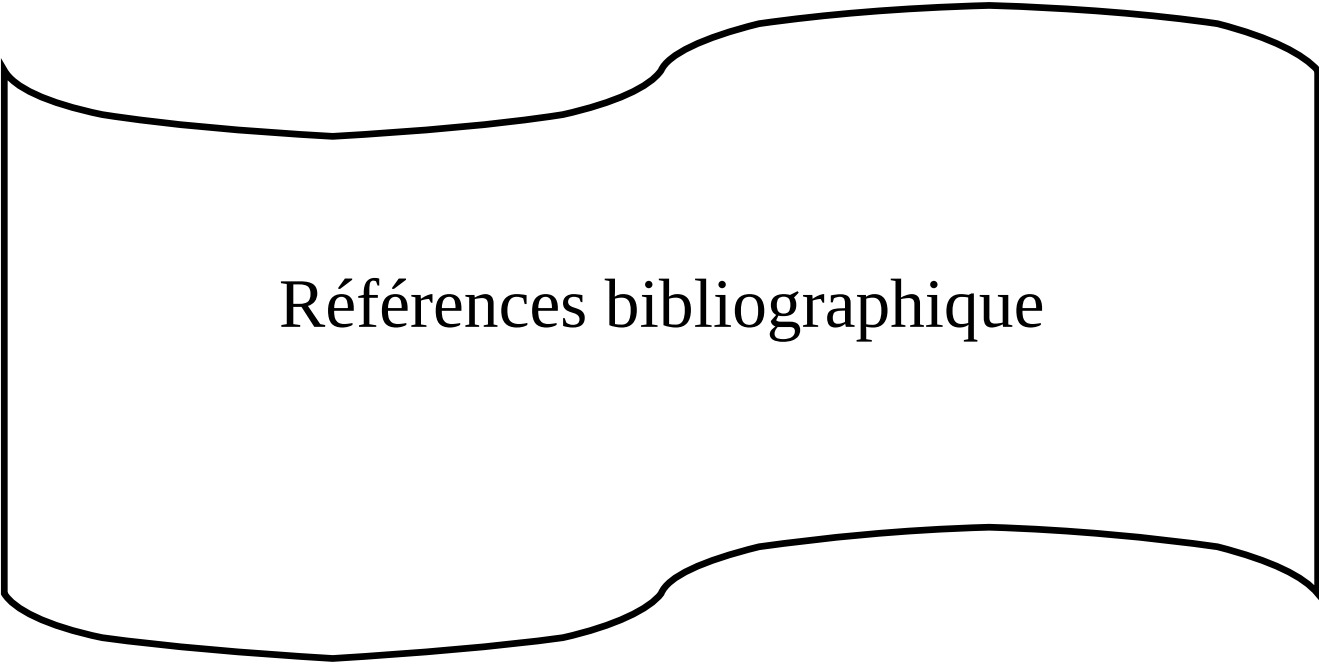
Aussi, les conditions climatiques n'ont pas été très favorables à notre culture. Notamment durant le stade de grossissement des fruits ou les températures étaient relativement élevées et ou le manque devenait important.

Nous signalons que le manque d'eau a été particulier cette année ou plusieurs spéculations à l'échelle nationale ont trouvé d'importantes pertes en rendement.

En finalité, nous retenons la dose K3xD3 qui a touché positivement les paramètres d'intérêt pour le rendement et les paramètres technologiques.

En perspective, nous préconisons de mener d'une manière plus régulière les irrigations chez la tomate pour espérer de meilleurs rendements.

Pour réussir l'effet des apports en NxK, nous recommandons judicieusement de travailler sur un sol bien préparé pour favoriser la pénétration des racines et faciliter l'absorption des éléments minéraux mais, faiblement pourvu en argile afin d'éviter la forte fixation du potassium dans les feuillets des argiles. Aussi il ya lieu de maintenir le système d'irrigation au goutte à goutte régulier et Planifier la récolte pour que les fruits ne dépassent pas leur maturité.



Références bibliographique

Référence bibliographique

Abdoussalam I. et Touzari H., 2006 : Effet de trois doses de fertilisation potassiques sur les paramètres agronomiques et technologiques chez deux variétés de la tomate industrielle (*Lycopersicon esculentum* Mill). Thèse d'ingénieur d'I.E.N.E.S de Tizi-Ouzou. 94p.

Abramowitz M. et Stegun I.A., 1972. Handbook of mathematical functions in *Dover Publications, New York*, 1972, n° 3, 927-964.

Agarwal S. et Rao A.V., 2000. Tomato lycopene and its role. *Human health and chronic disease*, 2000, n° 6, 739- 44.

Agarwal S. et Rao A.V., 1998. Tomato lycopene and low density lipoprotein oxidation. *Human dietary intervention study*, 1998, n° 10, 981-84.

Ait Boudjema.N., 2015 : Effet de cinq doses de fertilisation potassique sur la qualité nutritionnelle chez une variété de la tomate industrielle, cultivée en plein champ. Mémoire de Master à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 72p.

Ait mohammed et Hamdous., 2006 : Effet de trois doses de la fertilisation minérale NPK sur les paramètres agronomiques et technologiques chez deux variétés de tomate industrielle *Lycopersicon esculentum* Mill. 93p.

Argouach J., Lecomte V. et Morin J M., 2008. Maraichage biologique. Ed. Educagri. 267p.

Atherton D.G. and Harris G.P., 1986. Howering in the tomato crop. A scientific basis for improvement. Ed. ATHERTON J.G and RUDICH J. LONDON, New York. Pp 167-200.

Baba Aissa F., (1999): Encyclopédie des plantes utiles, flore d'Algérie et de Maghreb. Ed. librairie moderne, Rouiba: 278-279p.

Baci L., 1993. Les contraintes de développement de la tomate industrielle et de transformation. Journées d'études et de réflexion sur la tomate industrielle. 26 et 27 avril 1993.

Bado, B. V. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des sols Guinéenne et Soudanienne du Burkina-faso. *Thèse doctorat*

Université Lava, 197 p Disponible sur le «<http://www.theses.ulaval.ca/2002/20487/20487.html-12k>».

Bagayoko, M.Buerkert, A., Lung, G., Bationo, A. and V. Römheld. 2000. Cereal/legume rotation effects on cereal growth in Sudano-Sahalian West Africa: Soil mineral nitrogen, mycorrhizae and nematodes. *Plant and Soil* 218; 103116

Bagnouls F. et Gaussen H., 1953 : Saison sèche et indice xérothermique. Bull. soc. Nat. Toulouse, P 293

Bakatovet ; 1979 : Dosage de la vitamine C, polycopie Nouvelle conserverie Algérienne (NCA), Rouiba.

Bamouh A., 2010 : Fertilisation foliaire potassique des agrumes, effet sur la production et la qualité du clémentier « cadoux » .N°189.

Basiouny, F.M., K. Basiouny et M. Maloney. 1994. Influence of water stress on abscisic acid and ethylene production in tomato under different PAR levels. *Journal of Horticultural Science*, 69 : 535-541.

Bationo, A., Buerkert, A., Sedogo, M.P., Christianson, B.C. and Mokuwunye, A.U. 1995. A critical review of crop residue use as soil amendment in the West Africa Semi-arid tropics. In: Powell, M., Ferrandez, S., Williams, T.O. and Renard, C. (eds) *Livestock and Sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of Sub-Saharan Africa II. Technical papers*. Proceedings International conference, Addis Abeba, Ethiopia, 22-26 Nov 1993. Addis Abeba, Ethiopia: ILCA

Belaidi Z. et Kasdi I., 2014. L'effet de 9 doses de fertilisation potassique sur les paramètres agronomiques et technologiques de la tomate industrielle (*Lycopersicon esculentum* Mill).93p.

Belateche, 2005. La production de la tomate industrielle. *Potentiel de quelques pays méditerranéens*, juillet 2005, n ° 4,11-12-13.

Belmellat W. et Merabet K., 2007. Effet de trois doses de la fertilisation potassique sur les paramètres agronomiques et technologiques chez deux variétés de tomate industrielle. Thèse d'ingénieur. à l'UMM de Tizi-Ouzou. 73p.

Bénard C., Gautier H., Bourgaud F., Grasselly D., Navez B., Caris-Veyrat C., Weiss M., Génard M., 2009. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 4112-4123.

Benchaalal L., 1983. Généralité sur la tomate, production végétale, production céréalière et fourragère. *Aurès agronome*. pp 2-6.

Benton Jones, J.Jr. 1999. Tomato plant culture: In the field, greenhouse, and home garden. Boca Raton: CRC Press. 199 p.

Bertrand, R. et Gigou, J. 2000. La fertilité des sols Tropicaux. Ed. *Maisonneuse & Larose*. Paris, 397 p

Bertschinger L., Christian G., Ryser J.P., Haseli A., Neuweiler R., Pfammatter W., Schmid A. et Weibel F., 2003. Données de base pour la fumure en arboriculture fruitier, Fruits à pépins, fruits noyaux, kiwis, baies d'arbustes. Ed. Eidgenössische Forschungsanstalt, Postfach 185, CH-8820 Wädenswil. 48p.

Bilton R. F., 1999. Carotenoid composition and antioxidant potential. *Subfractions of human low-density lipoprotein of annals clinical* ,1999, n°5 -36.

Binet P. et Prunet J.P., 1967. Biologie végétale, Physiologie végétale. Ed. Imprimerie de Montligeon, La Chapelle-Montligeon, ORNE. 439p.

Blanc D. (1986). The influence of cultural practices of the quality of production in protected cultivation with special references to tomato production. *Acta horticulturae* 191:85-98.

Blancard D. (2015) : Listes des maladies et des Bioagresseurs de la tomate. Ephyta.INRA.fr

Blancard, 1997: Maladies de la tomate Observer-identifier-lutter. INRA. Paris.

Boumendjel M., Houhamdi M., Samar M F., Sabeg H., Boutabba A. et Bovey R., Baggiolini M. et Bolay A., 2012. La défense des plantes cultivées, n° 59, 9-10.

Bunker C., Donald A., Evans R., Rosa N., Boumosleh J. et Patrick A., 2007. A randomized trial of lycopene supplementation. *Tobagomen with high prostate cancer risk Nutr Cancer*, 2007, n°2, 130-37.

Bustamante E. et Sanchez S., 2007. Microbial production of C-13 norisoprenoids and other aroma compounds via carotenoid cleavage. *Crit Rev Micro*, 2007, n°3, 211-30.

Chabalier, P.F. 1976. Contribution à la connaissance du devenir de l'azote du sol et de l'azote de l'engrais dans un système sol-plante. Thèse de doctorat d'Etat, IRAT, Montpellier, 131 p

Chaux C.L. et Foury C.L. 1994 : Culture légumière et maraichère. Tome 3 : légumineuses potagères, légumes fruit. Tec et Doc. Lavoisier, Paris : 563 p.

Chaux.C et Foury.C., 1994: culture légumières. Légume fruits. Tome I. Ed. Lavoisier. Paris.

Chelha M., 2001. Problématique de la tomate industrielle stratégie pour établir la durée de réception au niveau des unités de transformation.

Chibane A., 2009. Ingénieur agronome, MADRPM/DPV/DH Fiche technique : tomate sous serre : <http://www.vulgarisation.net>.

Chibane.N., 1999: Tomate sous serre, bulletin mensuelle d'information et de liaison du programme nationale de transfert de technologie en agriculture. Maroc. N57. pp1-4.

Cirad (Organisme, France Ministère des affaires étrangères, Cirad, centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement France. Et Gret, groupe de recherche et d'échanges technologique, ministère des affaires étrangères), 2002. Memento de l'agronomie. Ed. Quae. P. 1045-1046. Collection sciences techniques agricoles. 2ème édition.

Combris Pierre, Mariel-jo. Amiot-Carlin. France Caillavet, Mathilde Causse, Jean Dallongeville, Martine Padilla, Catherine Renard, Louis Georges Soler (2011) : Les fruits et légumes dans l'alimentation enjeux et déterminants de la consommation expertise scientifique collective. INRA. ED. quae.

Contignies X., 1996. Potasse et agriculture. Ed. Société commerciale de la potasse.

Cotte F., 2000. Etude de la valeur alimentaire des pulpes de tomates chez les ruminants. Thèse de doctorat à Université Claude Bernard de Lyon, France. 142p.

Coutanceau M., 1962. Arboriculture fruitière, technique et économie des cultures de rosacées fruitières ligneuses. 2^{ème} Edition, Editions J B Baillière et Fils. Paris. 575 P.

Cronquist A., 1981. An integrated system of classification of flowering plants. Ed. The Edinburgh Building, Cambridge CB2 3RU, USA. 809p.

Diday E., J. Lemaire, J. Pouget F. Testu (1982). Eléments d'analyse de données. Dunod, Paris, PP. 32-40, 45-46.

Eagleasham, A.R.J., A. Ayanaba, V. Ranga.Rao, and D.L. Eskew. 1982. Mineral N effects on cowpea and soybean crops in a Nigeria Soil. *Plant and Soil* 68: 183-192

El Fadi A. et Chtaina N., 2010. Etude de base sur la culture de tomate au Maroc. (Projet GTFS /REM/070/ITA). 10p.

Elalaoui A. C., 2007. Fiche technique sur la fertilisation minérale des cultures, les éléments minéraux secondaires et oligo-éléments. Ecole nationale d'agriculture de Meknès

Epstein, E. 1972. A three year evaluation of two unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1772-1777.

Espiard.E., 2002: Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Lavoisier. 360p.

Ezzahiri B., Bouhache M., Mihi M. et Erraki I. 2004 : Index phytosanitaire du Maroc. Ed 2004. AMPP. 257p.

FAO, 1980. Les engrais et leurs applications, Fao, Rome, 51 p.

FAO, 1988. Cultures protégées en climat méditerranéen. Food and agricultural Organization of the United Nations. 317p.

FAO., 2003. Les engrais et leurs applications, Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole., Quatrième édition, Editions F.A.O., I.F.A. (Paris, France) et IMPHOS (Casablanca, Maroc). 84p.

Fernot M. et vierling E; 2002: Biochimie des aliments. Ed Lavoisier, Paris. 297p.

Fertiale. 2011. Fertilisation d'Algerie, Novembre 2011, n° 22, 4.

Food and Drug Administration, 2005. Qualified Health Claims: Letter of Partial Denial, tomatoes and Prostate, Ovarian, Gastric and Pancreatic Cancers (American Longevity Petition).

Friedman M., 2002. Tomato glycoalkaloids: role of the plant and in the diet. *J Agric Food Chem*, 2002, n°21, 57-51-80.

Gallais A. et Banneront H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées. *Objectifs et critères de sélection*. Paris. INRA. 391p.

Ganry, F., Guiraud, G. 1979. Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-sol sableux du Sénégal : Etude au moyen de l'azote 15. In isotopes and radiation in research on soil-plant relationships, proceedings of a symposium IAEA. Fao, Colombo, Vienne, IAEA, pp313-331

Gauthier J., 1991: Notion d'agriculture : Le sol, les cultures, l'élevage, l'économie et la gestion. Ed. Lavoisier, Paris. 576 p.

Gauthier M., 2001. La culture fruitière- les productions fruitières. 2^e Editions. Ed. Technique et Documentation Lavoisier, Paris., 665 P.

Giovannucci E., 1999. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer. *The epidemiological literature*, 1999, n°4, 3-17-31.

Giroux S., 1998 : Effet de la fertilisation foliaire sur le comportement de trois variétés de tomate industrielle. Thèse d'ingénieur. INA d'Alger.

Goffau H., 2005 : La culture de la tomate (Production, transformation et commercialisation) Agrodok N17. pp9-10.

Grasselly D., Navez B. et Letard M., 2000. Tomate pour un produit de qualité. Ed. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes 22 rue Bergère -75009 Paris. 201p.

Grasselly D., Navez B., Letard M. (2000) Tomate pour un produit de qualité. Ed. Lavoisier. 14, rue de Provigny-F9423 Cachan cedex. 222p.

Gros, A. 1967. Engrais: guide pratique de la fertilisation (5 éd), Maison Rustique, Paris, 430 p

Guet G., Chotard A. et Riman k., 2011. Mémento d'agriculture. Biologique. Ed. Agridision, France. 414p.

Hartung, W., A. Sauter et E. Hose. 2002. Abscissic acid in the xylem : where does it come from, where does it go to? Journal of Experimental Botany, 53 : 27-32.

Helle R., 1978. Physiologie végétale- nutrition- tome I. Ed Masson. 150 p.

Heller R., 1969. Physiologie végétale-nutrition-tome II. Ed. Masson. 156p

Heller R., 1969: Physiologie végétale-nutrition. Tome I. Ed. Masson. 156p.

Heller R., 1981. Physiologie végétale. Tome I : nutrition. 2^{ème} Edition Masson. Jardinage biologique, Écologie et environnement.

Heller R., 1984. Physiologie Végétale, Nutrition. Ed. Imprimerie Durand. 28600 Luisant, France. 244 p.

IFDC. 1990. Mélange en vrac d'engrais en Afrique Subsaharienne. 6^e réunion annuelle du réseau AFTMIN, Accra, 1993 (11) (2-4). IFDC-Lomé. Etudes diverses des engrais N⁰10, 189 p

ITCMI., 2015. Institut technique des cultures maraichères et industrielles, fiches techniques valorisées des cultures maraichères et industrielles.

Javaria S., Khan M. et Bakhsh I., 2012. Effect of potassium on chemical and sensory attributes of tomato fruit. The journal of animal & plant sciences, n° 22, 1081-1085.

Jebani-Bennani H., 1986. Etude morphologique et morphogénétique du développement de la tomate (*L.esculentum*. Mill) jusqu'à l'initiation de la première inflorescence : contrôle corrélatif et variabilité de l'expression organogène. Thèse de doctorat en science agronomique. Université de Genbloux. Belgique. 159p.

Jones, H.G. 1992. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. 2e édition. Cambridge University Press, New York. 428 p.

Kacel F. et Kacimi G., 2013. Effet de six doses de fertilisation potassique sur les paramètres agronomiques et technologiques chez une variété de tomate industrielle. Mémoire d'ingénieur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 87p.

Kassi D. et Larbi Cherif D., 2008. Effet de quatre doses de fertilisation potassique sur les paramètres agronomiques et technologiques chez une variété de tomate industrielle. Mémoire d'ingénieur à l'UMMTO. 89p.

Kavanaugh C., Trumbo P. et Ellwood K., 2007. The US Food and Drug Administration's evidence based. *Qualified health claims: tomatoes, lycopene and cancer*, 2007, n°14, 10-74-85.

Khelil A., 1989. Nutrition Et Fertilisation Des Arbres Fruitiers et de la vigne. Office Des Publications Universitaires, Ben Aknoun, Alger. 67p.

Kherbache N et Ziane Z., 2014. Effet de cinq doses de la fertilisation potassique sur les paramètres agronomiques, technologiques et sur la teneur en éléments minéraux chez une variété de tomate industrielle (*Lycopersicon esculentum* Mill). Mémoire de Master II à l'UMMTO. 88p.

Khodja Noura., 2007 : Effet de trois doses de la fertilisation minérale NPK sur les paramètres agronomiques et technologiques chez deux variétés de tomate industrielle *Lycopersicon esculentum* Mill. 78p.

Kladivko, E.J., Van Scoyoc, G.E., Monke, E.J., Oates, K.M. and Pask, W. 1991. Pesticide and nutrient movement into sub-surface tile drains on a silt loam soil in Indiana. *J. Env. Qual*, 20: 264-271

Lafon J.P., Tharoud Prayer C. et Levy G., 1996. Biologie des plantes cultivées, tome I, Organisation/Physiologie de la nutrition. 2^{ème} Edition, Editions Techniques et Documentations Lavoisier, Paris. 233 p.

Lamaze, T., S. Khamis, C. Foyer, J. Farineau, M.H. Valadier, et J.F. Morot-Gaudty. 1990. Effet d'une limitation en N sur la photosynthèse chez le maïs. In : *Physiologie et Production du maïs*. INRA, Paris, 113-121

Laumonnier R., 1979. Culture légumière et maraîchère. Tome III. Ed. Bailliére, Paris. 279p. le comportement de trois variétés de tomate industrielles. Thèse de magistère. INA d'Alger.135p.

Laumonnier R., 1979. Cultures légumières et maraichères. Ed. Bailléré. Tome III. 273p.

Layzell, D.B. 1990. N₂ fixation, NO₃⁻ reduction and NH₄⁺ assimilation. In: Plant physiology, biochemistry and molecular biology, D.T. Denis and D.H. Turpin (eds), *Longman Scientific & technical*, Singapore, 389-413

Leboeuf J., 2013. MAAARO; Diane Cuppels - Agriculture et Agroalimentaire Canada; Jim Dick - Tomato Solutions; Ron Pitblado - Collège de Ridgetown; Steve Læwen-Collège de Ridgetown; Michael Celetti - MAAARO. N° 05-070. www.ontario.ca/cultures.

Lepoivre P., 2003. Phytopathologie.Ed.De boeck Univerité rue des minimes 39,B1000 Bruxelles.431p.

Lime D.J., Griffiths O., Connor R.T., Heinzelman D.C., MC Call R., 1957: Dosage du β-carotène et du lycopène dans la tomate. *Agric.food. chem.* 5,12, 941-944.

Loué A., 1979. Interaction du potassium avec d'autres facteurs de croissance. Au service de l'agriculture. Dossier K2O, n° 15.

Madgroff, F.R., Ross, D. and Amadon, J. 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1301-1304

Madr., 2014. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Direction des statistiques maraichères. 3ème ed. INRA, Paris. Maroc. Ed. AMP. 257p.

Marschner H., 1986.Mineral nutrition of higher plants. London: Academic-press.

Martin Prevel P., Gagnard J. et Gauthier P., 1984. L'Analyse Végétale dans le Contrôle de l'Alimentation des Plantes Tempérées et Tropicales. Ed. Technique et documentation, Lavoisier, Paris. 810p.

Merabet K E. et Belmellat W., 2008. Effet de trois doses potassique sur les paramètres agronomiques et technologiques chez deux variétés de tomate industrielle. Mémoire d'ingéniorat, à l'UUMTO. 86p.

Mezouar N. et Mokdad A., (2009). Effet de cinq doses de fertilisation potassique sur les paramètres agronomiques et technologiques chez deux variétés de tomate industrielle. Mémoire d'ingénieur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Mhiri A., 2002. Le potassium dans les sols de Tunisie, institut national agronomique de Tunisie

Miladi S., 1970 : Introduction à la composition et technologie de la tomate .Ed.Grande maghreb. Tunis .Pp98-99.

Montigaud, 1983. Filière tomate transformée problèmes techniques et économiques. INA. Montpellier. 389p.

Morel R., 1996. Les sols cultivés. 2^{ème} édition. Ed. Lavoisier, Paris. 222p.

Morel, C., Tiessen, H., Moir, J.O. and Stewart, J.W.B. 1994. Phosphorus transformations and availability under cropping and fertilization assessed by isotopic exchange. *Soil Sci. Soc. Am J.* 58: 1439-1445.

Morel., 1996: Les sols cultivés .2ème édition. Lavoisier, Paris.613p.

Munro B. et Small E., 1997. Les légumes du Canada. Ed. Val. Morin, Québec, Canada. 436p.

Naika S., Joep V., Marja G., Hilmi M. et Van Dam B., 2005 : La culture de la tomate (production, transformation et commercialisation). Ed. Fondation Agromica et CTA, Wageningen. Pp 105-765.

Nguyen M., Francis D. et Schwartz S., 2001. Thermal isomerisation susceptibility of carotenoids. *Different tomato varieties J Sci Food Agric*, 2001, n°9,910-17.

OMS : Organisation mondiale de la santé, 1998-Effets du lycopène et du β -carotène sur la physiologie du tissu adipeux

Peoples, M.P., Herridge, D.F. and J.K. Ladha. 1995. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil* 174: 3-28

Peron J., 2006 : La production légumière .Ed. Lavoisier. Paris. Pp578-592.

Peter H., Ravenray F., Evert., Susan E. et Eichhorn.,2007.Biologie végétale, 2^eedition. Ed. ISBN. 978p.

Philouze J.et Laterrot H, 1999 : La tomate in amélioration des espaces végétales cultivés : objectif et critères de sélection. Ed. INRA, Paris. Pp 379-391.

Pol, D. 1998. Un module pour l'étude de la transpiration des plantes par exao (Expérimentation Assistée par Ordinateur). Site web : <http://www.didier-pol.net/4TRANSPI.html>.

Polese J.M., 2007. La culture des tomates. Ed. ARTÉMIS. 95p.

Poss, R.J., C. Fardeau and H. Saragoni. 1997. Sustainable agriculture in the tropics: The case of potassium under maize cropping in Togo. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 205-213

Predescu G., 1976.Fertilisation rationnelle des engrais.L'université d'Alger.103p.

Publishers B., 2004. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2 : légumes. 736p.

Rakontradona R., 2009. Besoin nutritionnel des plantes. E.N.S. Université d'Antananarivo (Madagascar).

Ray et Costes C., 1965. La physiologie de la tomate. Etude bibliographique INRA.
Reynaud E., 2009.synthèse organique D'apo-lycopenoide, étude des propriétés et de complexation avec l'albumine de serum humaine. Thèse de doctorat. Université d'Avignon et des pays de vaucluse. INRA. 111p.

Rehman M., Zhou M. et Weiner A. L., 1999.A spontaneous inflammatory disease in ratstransgenic.*Immunological review*, 1999, n°5, 103.

Roth, G.W. and Fox, R.H. 1990. Soil nitrate accumulation following corn fertilized at various N rates in Pennsylvania. *J. Env. Qual* 19: 243-248

Salter, P.J. 1954. The effects of different water-regimes on the growth of plants under glass. I. Experiments with *Lycopersicon esculentum* Mill. Journal of Horticultural Science, 29 : 258-268.

Saragoni, H., R. poss, J. Marquette, and E, Latrille. 1992. Fertilisation et succession des cultures vivrières au Sud du Togo : Synthèse d'une experimentation de longue durée sur les terres de barre. *Agron Trop.* 46 : 107-120

Shankra N., Van Lidt de jeud J., Goffau M., Hilmi M., Van Dam B. et Florijin A. (2005). La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation. 5^{ème} Ed. foundation agromica et CTA, Wageningen.

Soltner D., 2003. Les bases de la production végétale :le sol , le climat, la plante, tome I .18 eme édition .464p.

Stahl et al., 2000: Carotenoids and carotenoids plus vitamin E protect against ultraviolet light-induced erythema in humans. *Am. J.Clin. Nutr* 71:795–798.

Stahl G., Bidou L., Hatin I.,Namy O., Rousset J. P. et Farabaugh P., 2000. Carotenoids and Carotenoids plus Vite Protect against ultraviolet light-induced erythema humain. *Am.J.Clin.Nutri*, n°71, 795-798.

Stevenson, J.F. 1984. Croissance foliaire du maïs (*Zea mays* L.), sous déficience en phosphore. Analyse à l'échelle de plante et à l'échelle de la feuille. Thèse INRA-Pg. 99 p.

Taber H., Shanshan L., Wendy W., Rodermel S. et Yang X., 2008.Enhancement of Tomato Fruit Lycopene by Potassium. *Horticulture Science*, n°43, 159-165.

Unifa., 2005.Principaux éléments fertilisants.24p.

Variété de la tomate industrielle. Mémoire de fin d'étude à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

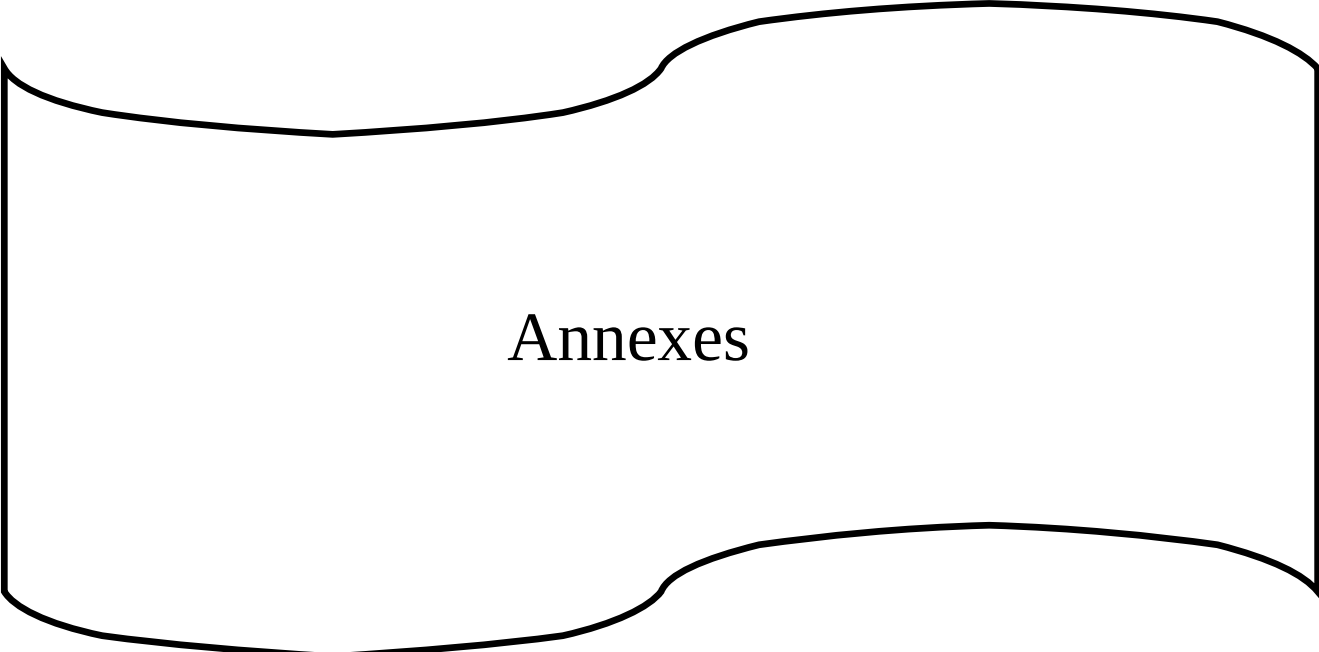
Vilain, M. 1993. La production végétale. Vol 1 : Composantes de la production végétale, 205 p

Wageninegen., 2005. La culture de la tomate. Ed. Barbara van Dam. 105p.

Waister, P.D et J.P. Hudson. 1970. Effects of soil moisture regimes on leaf water deficit, transpiration and yield of tomatoes. Journal of Horticultural Science, 45 : 359-370.

William G., 2003. Physiologie végétale. Ed. Americaine de Serge rambour. 495p.

Zehler E. et Forester H., 1972 : Potentiel de rendement de tomate en relation avec la nutrition potassique. Revue de la potasse, section 8.



Annexes

Annexes 1 : Groupes homogènes formés par teste NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour les paramètres agronomiques.

Tableau 01 : Groupes homogènes formés par le test NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le nombre de tige.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	B3	4,917	A	
2.0	B2	4,5	A	
4.0	B4	4,417	A	
1.0	B1	4,333	A	
5.0	B5	3,667		B

Tableau 02 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le nombre de fleur.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	B3	186,333	A	
4.0	B4	140,667		B
2.0	B2	125,167		B
1.0	B1	101		B
5.0	B5	89,083		B

Tableau 03 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour l'interaction des deux facteurs sur le nombre de fleur.

F1 F2	LIBELLE	MOYENNE	GROUPES HOMOGENES
	S	S	

1.0 3.0	D1 B3	298,5	A			
2.0 4.0	D2 B4	199,75		B		
2.0 3.0	D2 B3	198		B		
1.0 4.0	D1 B4	175,5		B	C	
1.0 2.0	D1 B2	159,25		B	C	D
2.0 2.0	D2 B2	156		B	C	D
2.0 1.0	D2 B1	149,75		B	C	D
1.0 1.0	D1 B1	109,75		B	C	D
1.0 5.0	D1 B5	107,75		B	C	D
2.0 5.0	D2 B5	98,25		B	C	D
3.0 3.0	D3 B3	62,5			C	D
3.0 5.0	D3 B5	61,25			C	D
3.0 2.0	D3 B2	60,25			C	D
3.0 4.0	D3 B4	46,75				D
3.0 1.0	D3 B1	43,5				D

Tableau 04 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le nombre de bouquets floraux.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0	B3	55,25	A		
2.0	B2	52,083	A	B	
5.0	B5	46,167	A	B	
4.0	B4	42,417		B	
1.0	B1	31,167			C

Tableau 05 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le nombre de bouquets floraux par tiges.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
5.0	B5	12,75	A	
2.0	B2	11,667	A	
3.0	B3	11,25	A	
4.0	B4	9,917	A	
1.0	B1	7,083		B

Tableau 06 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le nombre de fleur par bouquet.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	B4	5,25	A		
3.0	B3	5	A	B	
1.0	B1	4,167	A	B	C
2.0	B2	3,5		B	C
5.0	B5	2,917			C

Tableau 07 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le nombre de fleur avortée.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	B3	221,167	A	
4.0	B4	166	A	
2.0	B2	107,833		B
1.0	B1	92,75		B

5.0	B5	66,667		B
-----	----	--------	--	---

Tableau 08 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le nombre de fruits par plant.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	B2	76,5	A	
4.0	B4	57,917		B
3.0	B3	54		B
1.0	B1	54		B
5.0	B5	49,25		B

Tableau 09 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le poids total des fruits par plant.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	B2	2156,417	A	
1.0	B1	1930,083	A	B
3.0	B3	1717,417	A	B
5.0	B5	1584,333		B
4.0	B4	1482,5		B

Tableau 10 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour l'interaction des deux facteurs sur le poids total des fruits par plant.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0 2.0	D3 B2	3118	A		
1.0 1.0	D1 B1	2406,25		B	
3.0 3.0	D3 B3	2131		B	C
1.0 3.0	D1 B3	1978		B	C
1.0 5.0	D1 B5	1802,5		B	C
3.0 1.0	D3 B1	1709,75		B	C
1.0 2.0	D1 B2	1687		B	C
2.0 1.0	D2 B1	1674,25		B	C
2.0 2.0	D2 B2	1664,25		B	C
2.0 4.0	D2 B4	1646,25		B	C
2.0 5.0	D2 B5	1602,75		B	C
1.0 4.0	D1 B4	1558,5		B	C
3.0 5.0	D3 B5	1347,75		B	C
3.0 4.0	D3 B4	1242,75		B	C
2.0 3.0	D2 B3	1043,25			C

Tableau 11 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour l'interaction des deux facteurs sur le poids moyen des fruits par plant.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0 1.0	D1 B1	53,5	A	
1.0 3.0	D1 B3	40,75	A	B
2.0 1.0	D2 B1	38,25	A	B
2.0 4.0	D2 B4	37,5	A	B
1.0 5.0	D1 B5	35,5	A	B

3.0 5.0	D3 B5	35,25	A	B
3.0 3.0	D3 B3	34,25	A	B
1.0 2.0	D1 B2	33	A	B
3.0 2.0	D3 B2	31,25	A	B
1.0 4.0	D1 B4	30,5	A	B
2.0 5.0	D2 B5	30,25	A	B
2.0 3.0	D2 B3	26,25		B
3.0 1.0	D3 B1	25,5		B
2.0 2.0	D2 B2	23,25		B
3.0 4.0	D3 B4	18,75		B

Tableau 12 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour l'interaction des deux facteurs sur le rendement potentiel.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0 1.0	D1 B1	601,563	A	
3.0 3.0	D3 B3	532,75	A	B
3.0 2.0	D3 B2	508,656	A	B
1.0 3.0	D1 B3	494,5	A	B
1.0 5.0	D1 B5	450,625	A	B
3.0 1.0	D3 B1	427,438	A	B
1.0 2.0	D1 B2	421,75	A	B
2.0 1.0	D2 B1	418,563	A	B
2.0 2.0	D2 B2	416,063	A	B
2.0 4.0	D2 B4	411,563	A	B
2.0 5.0	D2 B5	400,688	A	B
1.0 4.0	D1 B4	389,625	A	B
3.0 5.0	D3 B5	336,938	A	B
3.0 4.0	D3 B4	310,688	A	B
2.0 3.0	D2 B3	260,813		B

Tableau 13 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour l'interaction des deux facteurs sur le calibre moyen des fruits.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0 3.0	B2 D3	5,406	A		
2.0 1.0	B2 D1	5,072	A	B	
1.0 2.0	B1 D2	5,028	A	B	
3.0 1.0	B3 D1	5,003	A	B	
2.0 2.0	B2 D2	4,792	A	B	C
4.0 2.0	B4 D2	4,775	A	B	C
5.0 2.0	B5 D2	4,736	A	B	C
1.0 1.0	B1 D1	4,728	A	B	C
3.0 3.0	B3 D3	4,378	A	B	C
4.0 3.0	B4 D3	4,276	A	B	C
5.0 1.0	B5 D1	4,236	A	B	C
3.0 2.0	B3 D2	4,2	A	B	C
5.0 3.0	B5 D3	3,964		B	C
4.0 1.0	B4 D1	3,853		B	C
1.0 3.0	B1 D3	3,658			C

Tableau 14 : Groupes homogènes formés par le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur bloc sur le taux de nouaison.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	B1	47,521	A	
5.0	B5	45,181	A	
2.0	B2	41,902	A	
4.0	B4	28,242	A	B
3.0	B3	21,358		B

RESUME

L'étude de l'interaction de la fertilisation minérale NxK sur les paramètres agronomique et technologique est réalisée chez une variété de tomate industrielle (Riogrande), d'espèce *Lycopersicum esculentum* Mill., cultivée en plein champ. L'essai est mené à la station expérimentale de l'institut technique des cultures maraichères et industrielle (ITCMI) des Issers. Trois traitements NxK sont appliqués : la dose K1xD1 (0,110), la dose K2xD2 (125,220), la dose K3xD3 (250,440). Le comportement des plants de tomate est différent selon les paramètres agronomiques et technologiques considérés, l'interaction NxK montre des résultats significatifs sur les paramètres agronomiques et hautement significatifs sur la majorité des paramètres technologiques.

Les principaux résultats montrent que c'est l'interaction K3xD3 qui est la plus intéressante sur les paramètres agronomiques et technologiques.

Mots clés : Tomate industrielle ; fertilisation minérale NxK ; paramètre agronomique et technologique.

ABSTRACT

The study of the interaction of NxK mineral fertilization on agronomic and technological parameters is performed in a variety of industrial tomato (Riogrande), of *Lycopersicum esculentum* Mill. Species cultivated in open fields. The test is conducted at the experimental station of the technical institute of market gardening and industrial crops (ITCMI) of Issers. NxK Are applied three treatments: the K1xD1 dose (0 , 110), the K2xD2 dose (125 , 220), the K3xD3 dose (250.440). The behavior of tomato plants is different depending on the agronomic and technological parameters considered, interaction NxK shows significant results on the agronomic and highly significant parameters on the majority of technological parameters.

The main results show that it is the K3xD3 interaction that is the most interesting on the agronomic and technological parameters.

Keywords: Industrial Tomato; NxK mineral fertilization; agronomic and technological parameter.